



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV TECHNICKÝCH ZAŘÍZENÍ BUDOV

INSTITUTE OF BUILDING SERVICES

FYZIKÁLNÍ JEVY PŘI DOPRAVĚ VZDUCHU

PHYSICAL PHENOMENA IN AIR TRANSPORT

DIPLOMOVÁ PRÁCE

DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

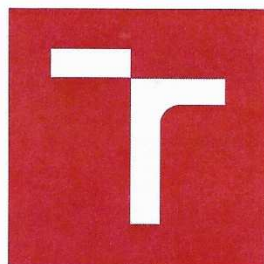
Bc. Lukáš Bělehrádek

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. OLGA RUBINOVÁ, Ph.D.

BRNO 2018



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program	N3607 Stavební inženýrství
Typ studijního programu	Navazující magisterský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor	3608T001 Pozemní stavby
Pracoviště	Ústav technických zařízení budov

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Student	Bc. Lukáš Bělehrádek
Název	Fyzikální jevy při dopravě vzduchu
Vedoucí práce	Ing. Olga Rubinová, Ph.D.
Datum zadání	31. 3. 2017
Datum odevzdání	12. 1. 2018

V Brně dne 31. 3. 2017

doc. Ing. Jiří Hirš, CSc.
Vedoucí ústavu



prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA
Děkan Fakulty stavební VUT

PODKLADY A LITERATURA

1. Stavební dokumentace zadané budovy
2. Aktuální legislativa ČR
3. České i zahraniční technické normy
4. Odborná literatura
5. Zdroje na internetu

ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ

A. Analýza tématu, cíle a metody řešení (5 až 10 stran)

Analýza zadaného tématu, normové a legislativní podklady

Cíl práce, zvolené metody řešení

Aktuální technická řešení v praxi

Teoretické řešení (s využitím fyzikální podstaty dějů)

Experimentální řešení (popis metody a přístrojové techniky)

Řešení využívající výpočetní techniku a modelování

B. Aplikace tématu na zadané budově - koncepční řešení (25 až 30 stran včetně grafické části)

Návrh technického řešení ve 2 až 3 variantách v zadané specializaci (včetně doložených výpočtů) v rozpracovanosti rozšířeného projektu pro stavební povolení: půdorysy v měřítku 1:100, stručná technická zpráva (v tématech zaměřených na energetickou náročnost budou využívány metody energetického auditu a aktuální legislativy)

Ideové řešení navazujících profesí TZB (ZTI, UT, VZT) v zadané budově

Hodnocení navržených variant řešení z hlediska vnitřního prostředí, uživatelského komfortu, prostorových nároků, ekonomiky provozu, dopadu na životní prostředí apod.;

C. Experimentální řešení a zpracování výsledků

Experiment realizovaný v laboratoři nebo reálné budově postihující zadanou problematiku

STRUKTURA DIPLOMOVÉ PRÁCE

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část VŠKP zpracovaná podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (povinná součást VŠKP).

2. Přílohy textové části VŠKP zpracované podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (nepovinná součást VŠKP v případě, že přílohy nejsou součástí textové části VŠKP, ale textovou část doplňují).



Ing. Olga Rubinová, Ph.D.
Vedoucí diplomové práce

ABSTRAKT

Cílem diplomové práce je navrhnout vzduchotechniku bytové jednotky ve dvou variantách potrubí. V první variantě jde o potrubí umístěné do podlahy a v druhé variantě jde o potrubí v podhledu. Pro návrh jsou využita data získaná z měření v rámci experimentu. Výsledkem měření jsou součinitele vřazených odporů pro ohyby použitého potrubí a tlakové ztráty třením použitého potrubí. Tyto hodnoty jsou využity pro dimenzování variant potrubí. V teoretické části je přiblížena problematika tlakových ztrát potrubí, jsou zde také popsány oba druhy potrubí a popsána metoda zpracování experimentu.

KLÍČOVÁ SLOVA

Přenos vzduchu, tlakové ztráty, součinitel vřazených odporů, měření tlaku, výměna vzduchu, podlahové rozvody vzduchu

ABSTRACT

The aim of this thesis is to design an air conditioning system of a flat unit in two variants of piping. The piping system of the first floor is installed into the floor in one variant, in the other it is in the ceiling. Data received from measurements within the experiment have been used for the design. The result of the measurement are minor loss coefficient implemented for bending pipes and pressure losses caused by rubbing. These values are used for dimensioning piping variants. Both types of piping are described in the theoretical part and the method of how the experiment had been processed.

KEYWORDS

Air transmission, pressure losses, minor loss coefficient, pressure measurement, air exchange, air distribution in the floor.

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE VŠKP

Bc. Lukáš Bělehrádek *Fyzikální jevy při dopravě vzduchu*. Brno, 2018. 95 s., 8 s. příl.
Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav technických
zařízení budov. Vedoucí práce Ing. Olga Rubinová, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ:

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 12. 1. 2018

Bc. Lukáš Bělehrádek
autor práce

Poděkování: Děkuji Ing. Olze Rubinové, Ph.D. za její pomoc při měření, také za užitečné rady a připomínky k práci. Díky tomu byly konzultace velmi přínosné a užitečné. Také děkuji rodině a přítelkyni za podporu při zpracovávání diplomové práce.

OBSAH

OBSAH	13
ÚVOD.....	15
A. ANALÝZA TÉMATU, CÍLE A METODY ŘEŠENÍ.....	16
A.1 ANALÝZA ZADANÉHO TÉMATU	17
A.2 CÍL PRÁCE, ZVOLENÉ METODY ŘEŠENÍ.....	17
A.3 AKTUÁLNÍ TECHNICKÁ ŘEŠENÍ V PRAXI.....	17
A.3.1 VARIANTA POTRUBÍ V PODLAZE	17
A.3.2 VARIANTA VEDENÍ POTRUBÍ V PODHLEDU.....	20
A.4 TEORETICKÉ ŘEŠENÍ (S VYUŽITÍM FYZIKÁLNÍ PODSTATY DĚJŮ).....	21
A.4.1 TLAKOVÉ ZTRÁTY	21
A.4.1.1 TLAKOVÉ ZTRÁTY TŘENÍM	21
A.4.1.2 ZTRÁTY VŘAZENÝMI ODPORY	22
A.4.1.3 CELKOVÉ TLAKOVÉ ZTRÁTY.....	23
A.5 EXPERIMENTÁLNÍ ŘEŠENÍ (POPIS METODY A PŘÍSTROJOVÉ TECHNIKY).....	23
A.5.1 METODA.....	23
A.5.2 PŘÍSTROJOVÁ TECHNIKA	24
B. APLIKACE TÉMATU NA ZADANÉ BUDOVĚ	26
B.1 ÚVOD	27
B.2 ANALÝZA ŘEŠENÉHO OBJEKTU	27
B.3 POTŘEBA VZDUCHU	29
B.4 DISTRIBUCE VZDUCHU – VARIANTA I.....	30
B.4.1 DIMENZOVÁNÍ POTRUBÍ	31
B.4.2 PRVKY POTRUBÍ	33
B.4.2.1 OBÝVACÍ A DĚTSKÝ POKOJ	34
B.4.2.2 KUCHYŇ.....	35
B.4.2.3 KOUPELNA	36
B.4.2.4 STROJOVNA	37
B.4.2.5 POKOJ S PŘEDSÍŇÍ.....	37
B.4.3 ZÁVĚR.....	38
B.5 DISTRIBUCE VZDUCHU – VARIANTA II	38
B.5.1 DIMENZOVÁNÍ POTRUBÍ	38
B.5.2 PRVKY POTRUBÍ	42
B.6 VZDUCHOTECHNICKÁ JEDNOTKA	43
B.6.1 OBECNÉ INFORMACE	44
B.6.2 CHARAKTERISTIKA JEDNOTKY	45
B.6.3 HLUK	45
B.6.4 ZPĚTNÉ ZÍSKÁVÁNÍ TEPLA.....	46
B.7 ÚPRAVA VZDUCHU	47

B.7.1	LETNÍ OBDOBÍ.....	47
B.7.2	ZIMNÍ OBDOBÍ.....	49
B.8	TECHNICKÁ ZPRÁVA	51
B.8.1	ÚVOD	51
B.8.2	POPIS TECHNICKÉHO ŘEŠENÍ.....	52
B.8.3	NÁROKY NA SOUVISEJÍCÍ PROFESE.....	52
B.8.4	PROTIHLUKOVÁ OPATŘENÍ.....	52
B.8.5	IZOLACE A NÁTĚRY	52
B.8.6	MONTÁŽ, PROVOZ, ÚDRŽBA A OBSLUHA ZAŘÍZENÍ	53
B.8.7	ZÁVĚR	53
C.	EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST	54
C.1	ÚVOD.....	55
C.2	MĚŘÍCÍ SESTAVA.....	55
C.2.1	POUŽITÉ PŘÍSTROJE.....	55
C.2.2	POSTUP MĚŘENÍ	58
C.2.2.1	SESTAVENÍ MĚŘÍCÍ SESTAVY.....	58
C.2.2.2	PŘIPOJENÍ MĚŘÍCÍCH ZAŘÍZENÍ.....	58
C.2.2.3	MĚŘENÍ.....	58
C.3	TLAKOVÉ ZTRÁTY	59
C.3.1	TLAKOVÉ ZTRÁTY TLUMIČE.....	59
C.3.2	TLAKOVÉ ZTRÁTY VŘAZENÝMI ODPORY	61
C.3.2.1	ZPRACOVÁNÍ VÝSLEDKŮ.....	61
C.3.2.2	HLINÍKOVÉ POTRUBÍ 160 MM.....	61
C.3.2.3	POLYETHYLENOVÉ POTRUBÍ 75 MM.....	71
C.3.2.4	SOUHRN VÝSLEDKŮ	80
C.3.2.5	ZÁVĚR	81
C.3.3	TLAKOVÉ ZTRÁTY TŘENÍM.....	82
C.3.3.1	ÚVOD.....	82
C.3.3.2	VYHODNOCENÍ	82
C.3.3.3	ZÁVĚR	86
	ZÁVĚR.....	87
	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	88
	SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A OZNAČENÍ.....	90
	SEZNAM OBRÁZKŮ, TABULEK A GRAFŮ.....	91
	PŘÍLOHY	95
A.	VÝKRESY	95
A.1	VÝKRES Č.1 – PŮDORYS 2. NP, VARIANTA I.....	95
A.2	VÝKRES Č.2 – ŘEZ A-A', B-B', C'-C VARIANTA I	95
A.3	VÝKRES Č.3 – PŮDORYS 2. NP, VARIANTA II	95
A.4	VÝKRES Č.4 – ŘEZ A-A', B-B', C'-C VARIANTA II.....	95

ÚVOD

Základním cílem vzduchotechniky je řízená doprava vzduchu. Nedílnou dopravy vzduchu je také jeho úprava, ať už jde o ohřev, chlazení, rekuperaci, zvlhčování apod. Práce se věnuje především dopravě vzduchu.

Vzduch je dopravován prostřednictvím vzduchotechnických potrubí. Potrubí mohou být různých druhů. Druh potrubí reaguje vždy na konkrétní požadavky. Pokud jsou nutné velké průtoky vzduchu musíme počítat s velkými rozměry potrubí, aby nedošlo k velkým rychlostem a vzniku nechtěného hluku. Potrubí se rozlišují velikostí, tvarem, materiálem nebo povrchovou úpravou.

V této diplomové práci je rozebíráno nucené větrání bytu ve dvou variantách potrubí.

V první variantě je použito potrubí, které je umístěno v podlaze. Jedná se o flexibilní PE potrubí o vnějším průměru 75 mm. Tato varianta má hlavní výhodu v tom, že nedochází k neúměrnému navyšování konstrukční výšky patra. Ovšem nevýhodou je větší množství potrubí, které se musí zalít do konstrukce už v průběhu výstavby a je tak mnohem náročnější dělat tuto variantu dodatečně.

Ve druhé variantě je použito potrubí umístěné do podhledu. Zde bylo navrženo potrubí z hliníku. Potrubí má větší průměr než v předchozí variantě. Dá se instalovat i dodatečně, pokud je dostatečná světlá výška místnosti.

V experimentální části této práce je měřena tlaková ztráta obou použitých potrubí. Tlaková ztráta je měřena pro různé poloměry a úhly oblouků. Jde například o zahnutí 45° při poloměru třikrát větším než průměr potrubí. Naměřené hodnoty jsou zpracovány a využity v projektu.

A. ANALÝZA TÉMATU, CÍLE A METODY ŘEŠENÍ

A.1 Analýza zadaného tématu

Tématem diplomové práce jsou fyzikální jevy při dopravě vzduchu. Zejména problematika tlakových ztrát v potrubí. Pokud jsou tlakové ztráty potrubí příliš vysoké je pak drahý i následný provoz, proto se snažíme docílit nízkých tlakových ztrát. Čím máme větší ztráty, tím musí být výkonnější ventilátor.

Normové a legislativní podklady:

- ČSN 12 3061 - Vzduchotechnika, Ventilátory – Předpisy pro měření

A.2 Cíl práce, zvolené metody řešení

Cílem práce bylo navrhnout vzduchotechniku do konkrétního bytu. Především šlo o stanovení tlakových ztrát potrubí. Návrh je proveden ve dvou variantách. Pro každou variantu je použito jiné potrubí. Jedno potrubí je určeno pro zabudování do podlahy a druhé je určeno pro umístění do podhledu. Pro umístění do podlahy je zvoleno flexibilní polyethylenové potrubí. Do podhledu bylo zvoleno hliníkové potrubí.

Pro stanovení přesných tlakových ztrát bylo provedeno experimentální měření. Měření bylo provedeno v laboratoři na potrubích, která byla navržena do jednotlivých variant. Tlakové ztráty byly vždy měřeny pro určitou rychlost, která byla stanovena lopatkovým anemometrem. Tlaky pak byly měřeny multifunkčním přístrojem na stanovení diferenčních tlaků.

A.3 Aktuální technická řešení v praxi

Způsobů pro vedení vzduchu ve vzduchotechnice je velké množství. Proto zde rozeberu typy, kterým se věnuji v následujících částech práce.

A.3.1 Varianta potrubí v podlaze

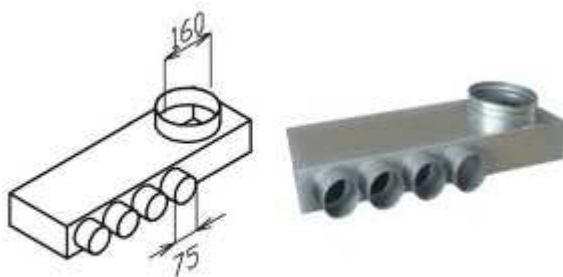
Pro variantu vedení vzduchotechniky v podlaze jsem si vybral PE(polyethylenové) potrubí od firmy Elektrodesign. Mají široký sortiment jednotlivých tvarovek a kusů pro provedení s jejich výrobky.

Základem celého systému je flexibilní potrubí ED Flex, které se nabízí o velikosti venkovního průměru 75 nebo 90 mm. Ve své práci jsem si vybral variantu menší se 75 mm s doporučeným maximálním průtokem 35 m³/hod.



Obrázek A.3.1-1 potrubí ED Flex¹

Z důvodu malého maximálního průtoku jednotlivých potrubí je nutné jejich větší množství. Proto je nutné umístit do systému rozdělovací prvky. Prvků je také velké množství, můžeme si je vybrat podle vlastní potřeby. Do rozdělovacího boxu vždy vede větší potrubí. Jde o potrubí, které vede přímo z vzduchotechnické jednotky, v případě, že máme pouze jeden rozdělovací box. Nebo se potrubí může za jednotkou rozdělit a následně vézt do více rozdělovacích boxů.

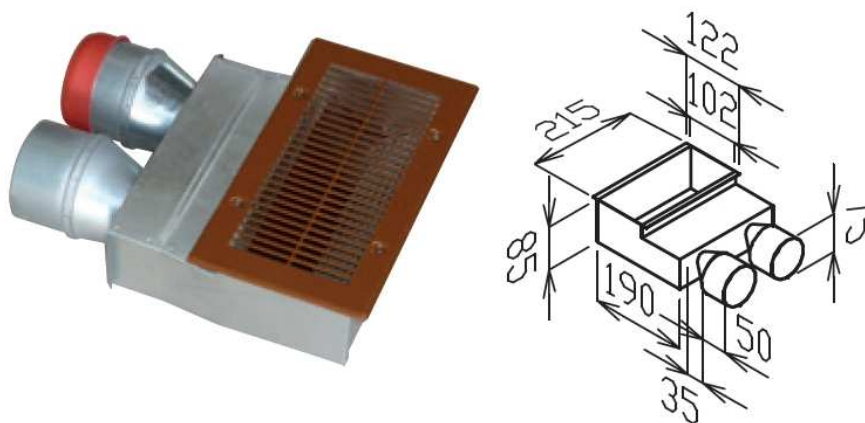


Obrázek A.3.1-2 Rozváděcí box²

Tenké potrubí pak vede přímo k vyústkám a už se nikde dále nedělí. Pokud je nutný ve vyústce větší průtok než nám umožňuje jedno potrubí, je možné jich do vyústky dovézt více. Pokud ovšem už vedeme větší počet potrubí, je na zvážení, zda není lepší dát více odvodních či přívodních vyústek s menšími průtoky. Ale to už záleží na prostoru nebo úvaze projektanta.

¹ Elektrodesign ED Flex [online]; [cit. 2018-4-1]. URL: <<http://www.elektrodesign.cz/web/data-1/hlavni-obrazky/EDFlexHYGhlavni.jpg>>

² Elektrodesign rozdělovací box [online]; [cit. 2018-4-1]. URL: <http://www.elektrodesign.cz/web/data-1/hlavni-obrazky/ALUFLEX_HYGhlavni.jpg>



Obrázek A.3.1-3 vyústka³

Ukázka samotné realizace v praxi. Rozdělovací box rozdělí velké potrubí na malá, která už jsou následně zabudována do podlahy.



Obrázek A.3.1-4 realizace ED Flex⁴

³Elektrodesign box podlahový [online]; [cit. 2018-4-1]. URL: <<http://www.elektrodesign.cz/web/cs/product/edf-p-box-2x75-215x102-box-podlahovy>>

⁴Vnitřní mikroklima a řízené větrání bytů a rodinných domů [online]; [cit. 2018-4-1]. URL: <https://www.nazeleno.cz/stavba/rekuperace/chap_3837/vnitni-mikroklima-a-rizene-vetrani-bytu-a-rodinnych-domu.aspx>

A.3.2 Varianta vedení potrubí v podhledu

Pro variantu potrubí v podhledu jsem zvolil kruhové potrubí. Pro hlavní rozvody je použito hliníkové semiflex potrubí z pozinkovaného plechu. Pro odbočky k vyústkám je použito flexibilní potrubí. Nabídka výrobků pro toto řešení je široká.

Experimentální měření bylo provedeno na ohebném potrubí semiflex.



Obrázek A.3.2-1 Flexibilní potrubí aluflex⁵



Obrázek A.3.2-2 Semiflex potrubí⁶

⁵Elektrodesign Aluflex [online]; [cit. 2018-4-1]. URL: <http://www.elektrodesign.cz/web/data-1/hlavni-obrazky/ALUFLEX_HYGhlavni.jpg>

⁶Elektrodesign Semiflex [online]; [cit. 2018-4-1]. URL: http://www.elektrodesign.cz/web/data-1/hlavni-obrazky/SEMIFLEX-STAND_PROFI-hlavni.jpg 3.tbl

A.4 Teoretické řešení (s využitím fyzikální podstaty dějů)

A.4.1 Tlakové ztráty

Tlakové ztráty vznikají průchodem vzduchu potrubím. Ztráty vznikají třením o stěny potrubí, třením mezi jednotlivými vrstvami vzduchu, kdy se každá vrstva pohybuje jinou rychlostí. Tyto ztráty se nazývají tlakové ztráty třením. Dále mohou vznikat ztráty, které jsou způsobené nekonstantním směrem proudění. Může jít o změnu směru, což způsobují kolena, odbočky, které spojují nebo rozdělují proud vzduchu. Nebo prouděním sacími nebo výfukovými otvory. Tyto ztráty se nazývají ztráty vřazenými odpory. Celková tlaková ztráta je součtem všech druhů ztrát.⁷

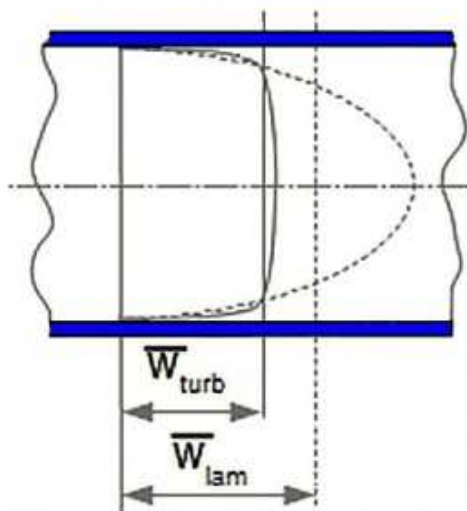
A.4.1.1 Tlakové ztráty třením

Proud vzduchu v potrubí má dvě složky, jde o podélnou a příčnou. Příčná složka je však minimální. Hlavní složkou je podélná, která zajišťuje přenos hmoty. Rychlost proudu vzduchu se po průřezu potrubí mění. V ose v proudu dosahuje rychlosti maximální a u stěny rychlosti minimální. Z důvodu viskozity vzduchu se vrstvy mezi sebou brzdí. Rozložení rychlosti je závislé na rychlosti proudění vzduchu.⁷

Proudění může být turbulentní nebo laminární. Každý typ proudění má pak jiný rychlostní profil. Abychom zjistili, jaké je proudění, musíme znát jeho Reynoldsovo číslo. Reynoldsovo číslo je bezrozměrná veličina, která dává do poměru rychlost, průměr potrubí a viskozitu. Experimentálně bylo zjištěno, že proudění laminární má hodnotu Reynoldsova čísla do 2300 a turbulentní nastává od 6000. Mezi těmito hodnotami je přechodová oblast.⁸

⁷Günter, Gebauer, Rubinová, Olga, Horká, Helena. *Vzduchotechnika*. Brno : ERA group, spol. s r.o., 2007, 2. vydání. str. 262. ISBN: 978-80-7366-091-8.

⁸Laminární proudění a Reynoldsovo číslo [online]. [cit. 2017-30-12]. URL: <<http://www.ipotrubí.cz/clanky/6.-hydrodynamicke-a-termodynamicke-vypocty/2.-vypocet-tlakovych-ztrat/1.-laminarni-proudeni-a-reynoldsovo-cislo.html>>



Obrázek A.4.1-1 Laminární a turbulentní proudění⁹

Pro výpočet tlakové ztráty třením využijeme následující vztah:

$$\Delta p = (\lambda \cdot D^{-1} \cdot l \cdot \rho \cdot w^2)/2 \quad (\text{A.1.})$$

Kde:

λ – součinitel tření

D – průměr

l – délka potrubí

ρ – hustotu vzduchu

w – rychlost proudění

Častěji je ovšem výpočet ztráty třením pro návrhy potrubí velmi zjednodušen, kdy výrobce udává ztrátu v pascálech na jeden metr [Pa/m]. Pak už nám stačí jen znát délku potrubí a vynásobit ji hodnotou od výrobce.

A.4.1.2 Ztráty vřazenými odpory

Ztráta vřazenými odpory vzniká v místě změny směru proudu. Jde o odbočky, oblouky, kolena atd. Ztráta vřazenými odpory závisí především na rychlosti proudění. Každá

⁹Laminární proudění a Reynoldsovo číslo [online]. [cit. 2018-30-12]. URL: <<http://www.ipotrubí.cz/img/picture/800/proud2.jpg>>

tvárovka má určitý součinitel vřazeného odporu ξ . Jde o bezrozměrnou veličinu, která je závislá na tvaru prvku. Většinou se hodnota určuje experimentálně.⁷

Výpočet tlakové ztráty vřazenými odpory se vypočítá následovně:

$$\Delta p = (\xi \cdot \rho \cdot w^2)/2 \quad (\text{A.2.})$$

Kde:

ξ – součinitel vřazeného odporu

ρ – hustotu vzduchu

w – rychlost proudění

A.4.1.3 Celkové tlakové ztráty

Celkové tlakové ztráty jsou pak součtem dílčích ztrát. Stačí tedy spočítat ztráty třením a ztráty vřazenými odpory a máme celkové tlakové ztráty.

A.5 Experimentální řešení (popis metody a přístrojové techniky)

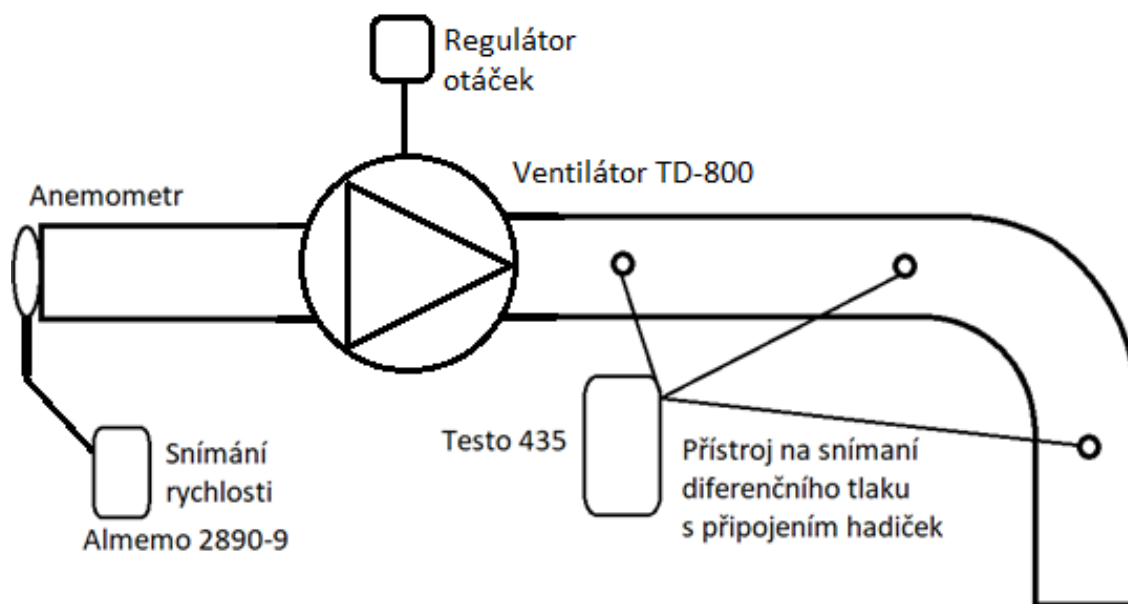
Pro experimentální část jsem zpracoval měření tlakových ztrát vzduchotechnického potrubí. Experiment byl prováděn v laboratoři na fakultě stavební. Cílem bylo změřit tlakové ztráty potrubí, které budou následně použity pro návrh vzduchotechniky v rámci projektu.

Měřeny byly celkem dva druhy potrubí a jeden tlumič. Jedno potrubí je určeno pro umístění do konstrukce podlahy a druhé do podhledu.

A.5.1 Metoda

Pro změření tlakových ztrát bylo nutné k potrubí připojit ventilátor, který bude zajišťovat proudění vzduchu potrubím. Pro docílení ustáleného proudu vzduchu bylo zapotřebí dostatečné délky potrubí. Do potrubí byly udělány otvory pro vložení trubiček, které byly připojeny do přístroje na měření diferenčního tlaku.

Kromě měření diferenčního tlaku bylo potřeba měřit i rychlost proudění vzduchu. K měření rychlosti vzduchu bylo využito lopatkového anemometru. U malého potrubí bylo měření rychlosti bezproblémové. Lopatkový anemometr měl podobnou velikost, takže k potrubí přiléhal. U většího průměru potrubí bylo nutné anemometr přikládat na různá místa v průřezu potrubí a následně průměrovat pro co nejpresnější určení rychlosti.



Obrázek A.5.1-1 Schéma měření

A.5.2 Přístrojová technika

Z přístrojové techniky byl zapotřebí ventilátor s regulací otáček, lopatkový anemometr s centrálou a multifunkční měřicí přístroj s hadičkami pro měření diferenčního tlaku.



Obrázek A.5.2-1 Ventilátor s regulací



Obrázek A.5.2-2 Lopatkový anemometr s centrálou Almemo



Obrázek A.5.2-3 Přístroj pro měření diferenčního tlaku

B. APLIKACE TÉMATU NA ZADANÉ BUDOVĚ

B.1 Úvod

V kapitole aplikace na zadané budově jsou návrhy vzduchotechnického potrubí s aplikací měření provedená v experimentální části. Aplikace je provedena na bytové jednotce. Jsou provedeny dva návrhy s různým vzduchotechnickým potrubím. V první variantě jde o potrubí zabudované v zemi a ve druhé variantě je potrubí umístěno v podhledu.

B.2 Analýza řešeného objektu

Jedná se o bytový dům s jedním podzemním podlažím a se třemi nadzemními. V bytovém domě jsou celkem 4 byty. Objekt má půdorysnou plochu 136 m^2 . Ve středu objektu se nachází schodiště společně s výtahem.

V rámci podzemního podlaží jsou parkovací garáže se sklepními kóji. Ke každému bytu náleží jedno parkovací místo s jednou sklepní kójí. Dále je zde úklidová místnost.

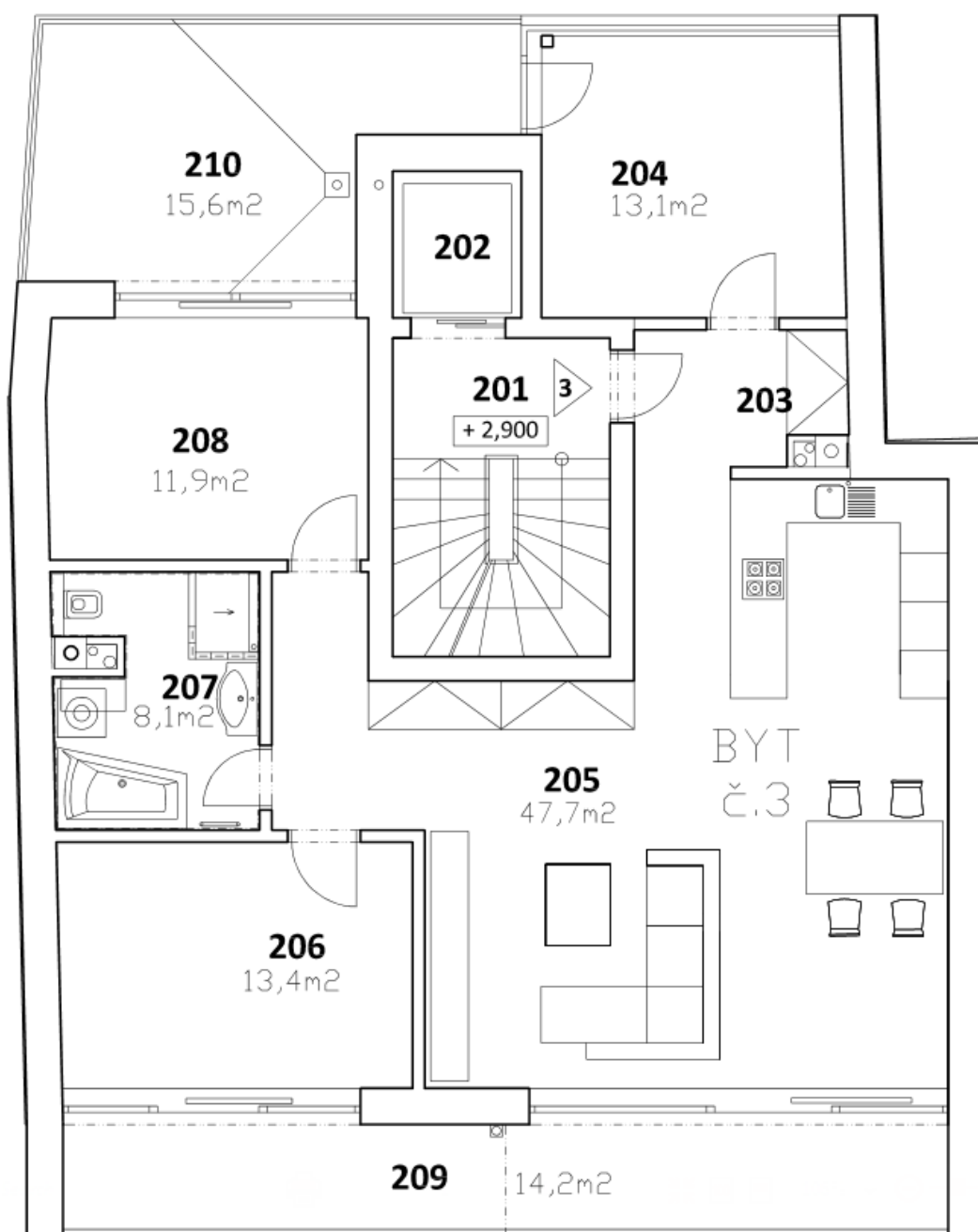
První nadzemní podlaží je rozděleno na dva menší byty dispozičně řešené jako 1+KK. Jeden o ploše $62,4 \text{ m}^2$ a druhý o ploše $60,1 \text{ m}^2$. Ke každému bytu náleží velká terasa.

V druhém a třetím nadzemním podlaží se nachází vždy jeden byt o ploše kolem 100 m^2 .

Střecha objektu je zpřístupněna po schodišti. Na střeše je podlaha z dřevoplastových desek a je uzpůsobena k rekreaci.

V rámci aplikace je řešen byt ve druhém nadzemním podlaží o ploše $98,6 \text{ m}^2$. Byt je dispozičně řešen jako 3+1. V bytu se nachází předsíň, kuchyně s obývacím pokojem, ložnice, pokoj, koupelna a technická místnost. V technické místnosti je umístěna vzduchotechnická jednotka. Byt má dále terasu a balkón o celkové ploše 30 m^2 .

Cílem je zajistit dostatečné větrání bytu společně s rekuperací vzduchu. Jde tedy o přívod vzduchu do míst, kde se nachází lidé, jako je obyvák, ložnice a pokoje. Odvod je umístěn v místě vzniku nečistot nebo vlhkosti, které vznikají v kuchyni a koupelně.



Obrázek A.5.2-1 Řešený byt

B.3 Potřeba vzduchu

Dávka přiváděného vzduchu vychází z požadavků uvedených ve vyhlášce 20/2012 Sb., která nahrazuje vyhlášku 268/2009 Sb. Ta udává dávku vzduchu na osobu 25 m³/h, nebo minimální intenzitu výměny vzduchu 0,5/h.¹⁰

Dále norma ČSN EN 15665/Z1 udává minimální hodnotu dávky venkovního vzduchu na osobu 15 m³/h a doporučenou 25 m³/h. Také udává minimální hodnotu intenzity větrání 0,3/h, ovšem pro vyšší kvalitu vnitřního vzduchu doporučuje intenzitu větrání 0,5 až 0,7/h.¹¹

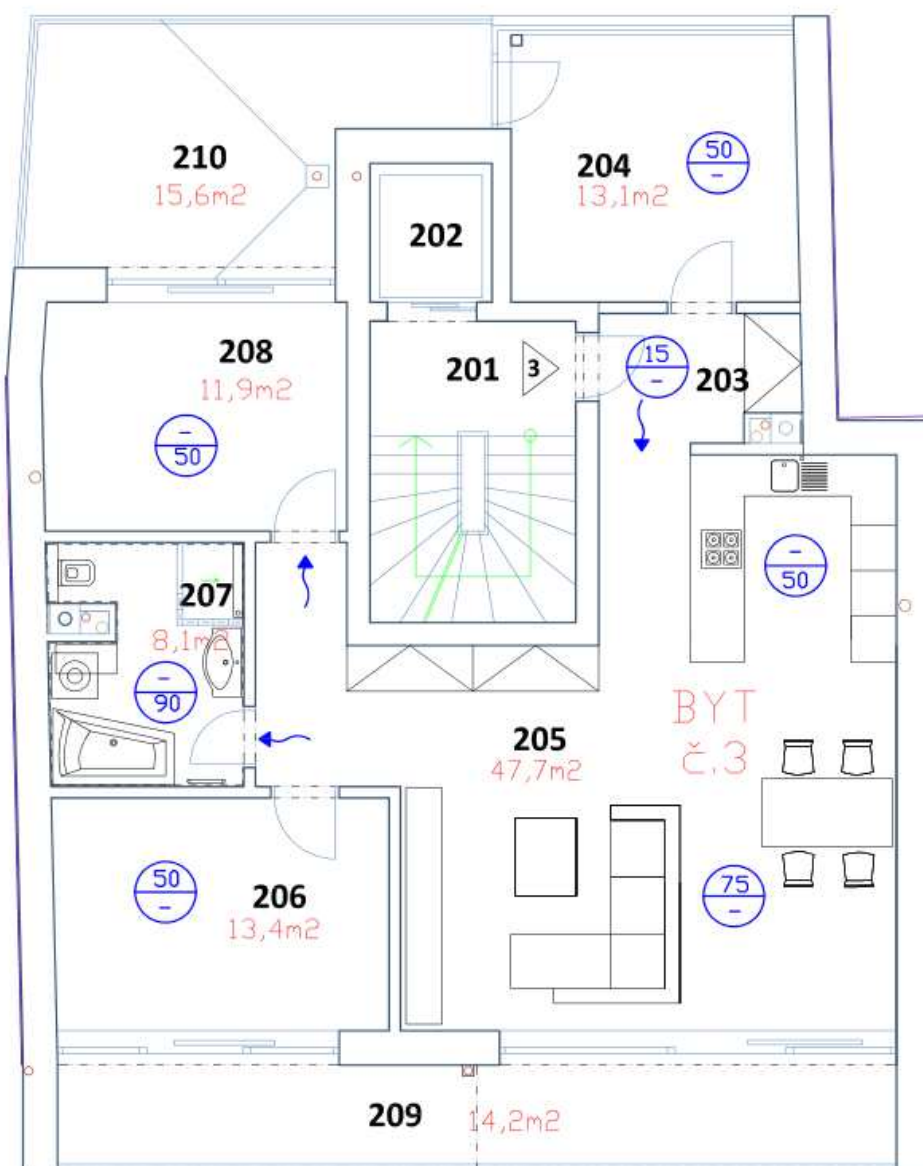
Tabulka A.5.2-1 Dávky vzduchu po místnostech

Číslo m.	Název místnosti	Plocha	Světlá výška	Objem	Měrná jednotka	Počet	Dávka	Přívod	Odvod
[-]	[-]	[m ²]	[m]	[m ³]	[-]	[-]	[m ³ /h]	[m ³ /h]	[m ³ /h]
203	Předsíň	4,4	2,6	11,44				15	0
204	Ložnice	13,1	2,6	34,06	lidé	2	25	50	0
205	Obytná kuchyň	47,7	2,6	124,02					
	Kuchyně	10,6	2,6	27,56	objem	27,6	2	0	50
	Obývací pokoj	37,1	2,6	96,46	lidé	3	25	75	0
Celkem								75	50
206	Pokoj	13,4	2,6	34,84	objem	2	25	50	0
207	Koupelna	8,1	2,6	21,06	umyvadlo	4	30	0	30
					vana	1	90	0	90
					WC	4	50	0	50
					Spřehový kout	4	50	0	50
Celkem								0	90
208	Strojovna	10,8	2,6	28,08				0	50
Celkem								190	190

Kuchyně, strojovna a koupelna jsou zdroji nečistot a vlhkosti proto je nutné z těchto prostor vzduch odvádět, aby se nešířily do ostatních prostor. Přívod je umístěn do místností, kde se nachází lidé, jako je obývací pokoj, ložnice a dětský pokoj. Pro dostatečné proudění vzduchu mezi jednotlivými pokoji, je nutné osadit dveřní mřížky.

¹⁰ Vyhláška 20/2012 Sb.

¹¹ norma ČSN EN 15665/Z1



Obrázek A.5.2-1 Tlakové poměry a dávky vzduchu

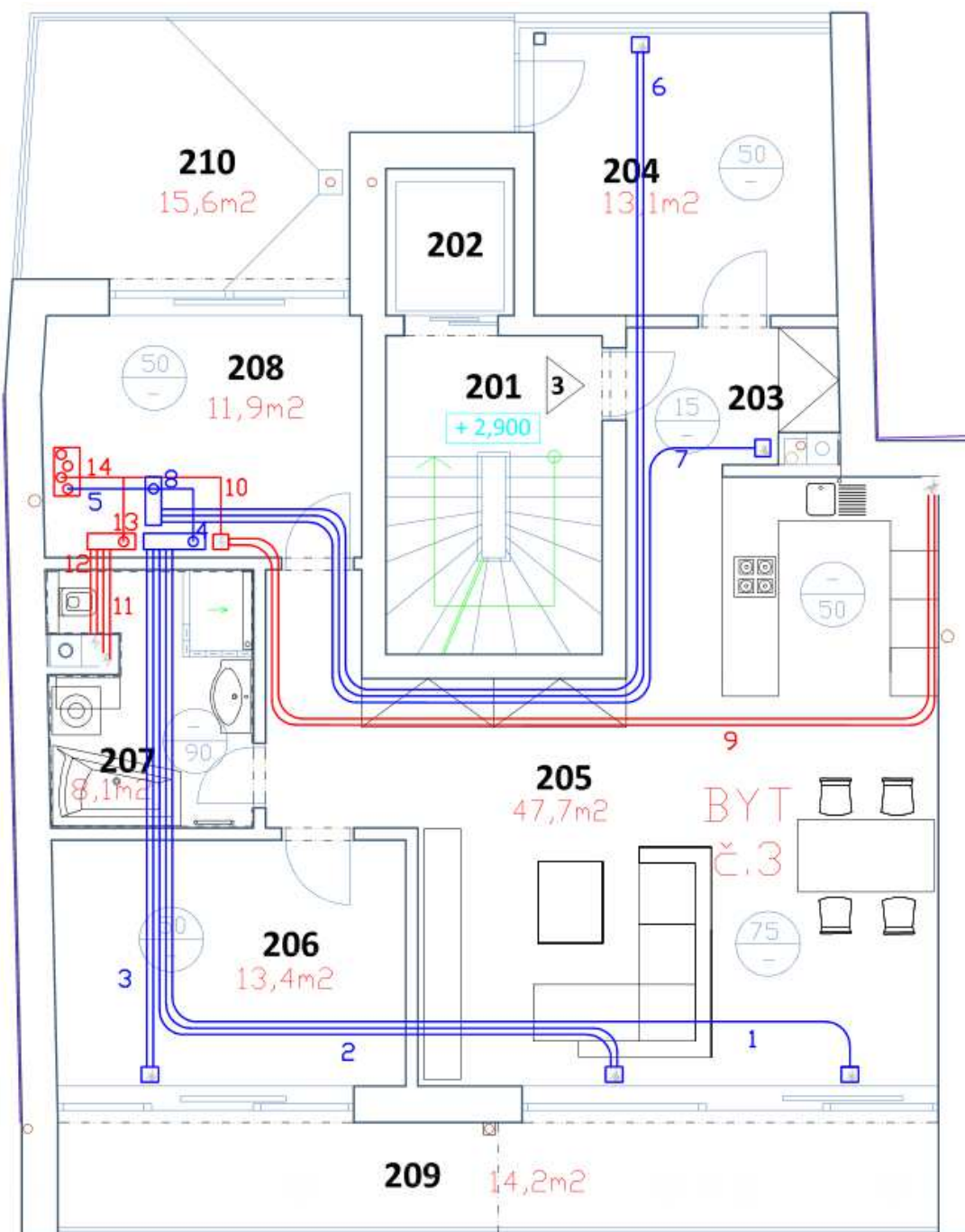
B.4 Distribuce vzduchu – Varianta I

V první variantě návrhu vzduchotechnického potrubí je hlavním prvkem polyethylenové potrubí průměru 75 mm. Rozvody jsou převážně vedeny v podlaze.

Ve strojovně vedou potrubí viditelně. Jde o potrubí přivádějící čerstvý vzduch z venkovního prostředí a odvádějící znečištěný vzduch ven a také o potrubí propojující vzduchotechnickou jednotku s rozdělovacími boxy umístěnými v podlaze.

Koncové elementy jsou vybrány podle potřebného průtoku a umístění v místnosti.

B.4.1 Dimenzování potrubí



Obrázek B.4.1-1 Schéma pro dimenzování potrubí v podlaze

Potrubí pro dimenzování je pro danou variantu již zadané. Při dimenzování je z rozdělovacích boxů použito pouze potrubí PE 75 mm s vnitřním průměrem 61 mm. Rozdělovací boxy a vzduchotechnická jednotka jsou propojeny pomocí semiflex potrubí o průměru 125 mm. Protože hrdlo jednotky i rozdělovacích boxů má právě tento průměr a na dané množství vzduchu je to dostačující.

Dimenzování bylo především nutné pro správný návrh vzduchotechnické jednotky. Kde se na jedné straně vychází z potřebného průtoku a na druhé straně je potřeba znát tlakovou ztrátu okruhu, abychom měli jistotu, že ventilátor vzduchotechnické jednotky zvládne tlakové ztráty překonat.

V následujících tabulkách je počítáno s hodnotami od výrobce a s naměřenými hodnotami v rámci experimentu. Při použití hodnot z experimentu je tlaková ztráta potrubí mnohem menší. Ovšem v součtu všech tlakových ztrát už rozdíl není tolik znát.

Tabulka B.4.1-1 Dimenzování potrubí v podlaze přívodní

#	V	L	v'	S	d'	d	v	R	R	ξ	ξ	Z	R*L	Z + R*L	Z + R*L
Označení úseku	Průtok vzduchu v úseku	Délka úseku	Předběžná rychlost	Předběžná plocha potrubí	Předběžný rovnocenný průměr	Skutečný průměr potrubí	Skutečná rychlost	Tlaková ztráta třením v potrubí naměřené	Tlaková ztráta třením v potrubí výrobce	Součinitel odporu tvarovek naměřené	Součinitel odporu tvarovek naměřené	Tlaková ztráta místními odpory	Tlaková ztráta třením	Celková tlaková ztráta výrobce	Celková tlaková ztráta
[-]	[m³/h]	[m]	[m/s]	[m²]	[m]	[m]	[m/s]	[Pa/m]	[Pa/m]	[-]	[-]	[Pa]	[Pa]	[Pa]	[Pa]
Hlavní větev – přívodní															
1	25	14,9	3	0,002	0,054	0,061	2,38	0,5	1,5	0,402	1,2	1,36	7,43	26,36	8,79
4	125	3,15	4	0,009	0,105	0,125	2,83	-	0,9	0,6	1,8	8,65	2,835	-	11,48
3	190	1,1	5	0,011	0,116	0,125	4,30	-	2	0,6	0,6	6,66	2,2	-	8,86
										celkem			29,13		
										vyústka			15		
										regulace			20		
										rozdělovací box			15		
										tlumič hluku			25		
Celková tlaková ztráta přívodního potrubí - varianta I														104,1	

Tabulka B.4.1-2 Dimenzování potrubí v podlaze odvodní

#	V	L	v´	S	d´	d	v	R	R	ζ´	ζ´	Z	R*L	Z + R*L	Z + R*L
Označení úseku	Průtok vzduchu v úseku	Délka úseku	Předběžná rychlost	Předběžná plocha potrubí	Předběžný rovnocenný průměr	Skutečný průměr potrubí	Skutečná rychlost	Tlaková ztráta třením v potrubí naměřené	Tlaková ztráta třením v potrubí výrobce	Součinitel odporu tvarovek naměřené	Součinitel odporu tvarovek naměřené	Tlaková ztráta místními odpory	Tlaková ztráta třením	Celková tlaková ztráta výrobce	Celková tlaková ztráta
[-]	[m³/h]	[m]	[m/s]	[m²]	[m]	[m]	[m/s]	[Pa/m]	[Pa/m]	[-]	[-]	[Pa]	[Pa]	[Pa]	[Pa]
Hlavní větev – odvodní															
9	25	15,2	3	0,002	0,054	0,061	2,38	0,5	1,5	0,402	1,8	1,36	7,6	28,90	8,96
10	100	3,95	4	0,007	0,094	0,125	2,26	-	0,7	0,6	1,8	5,53	2,765	-	8,30
14	190	1,1	5	0,011	0,116	0,125	4,30	-	2	0,6	0,6	6,66	2,2	-	8,86
										celkem			26,12		
										výústka			15		
										regulace			20		
										rozdělovací box			10		
										tlumič hluku			25		
Celková tlaková ztráta odvodního potrubí - varianta I														96,1	

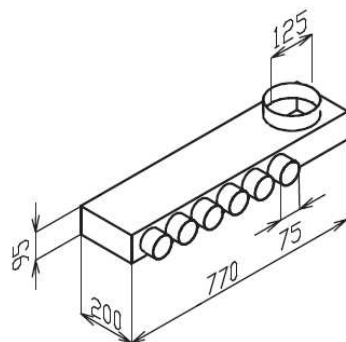
B.4.2 Prvky potrubí

Jak už bylo zmíněno základním prvkem celého potrubí je polyethylenové potrubí o tloušťce 75 mm, doplněné rozdělovacími boxy a připojovacími boxy, na které se osazují výústky.

Obrázek B.4.2-1 Potrubí ED Flex ¹

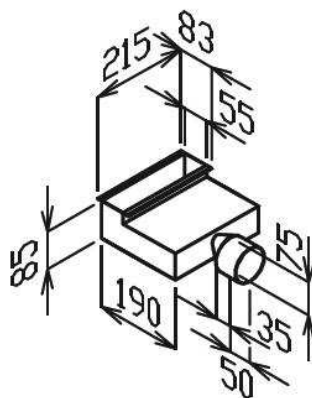
B.4.2.1 Obývací a dětský pokoj

Pro přívod do obývacího a dětského pokoje je využit rozdělovací box, který rozdělí přívodní potrubí na 6 malých potrubí. Z důvodu potřeby jen 5 připojovacích míst je jedno připojovací místo zaslepeno, aniž by se narušila funkčnost výrobku.



Obrázek B.4.2-2 Rozdělovací box pro obývací a dětský pokoj¹²

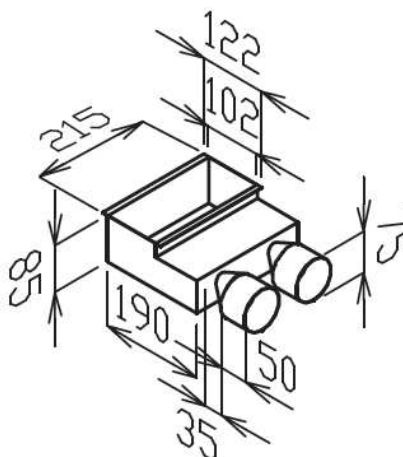
V místnosti jsou využity podlahové vyústky. Dvě vyústky jsou EDF-P-BOX-2x75 – 215x102 s mřížkou a průtokem 50 m³/h, ke kterým jsou připojeny dvě potrubí. Jedna vyústka je EDF-P-BOX-1x75/90 s mřížkou a průtokem 25 m³/h, ke které je připojeno jedno potrubí.



Obrázek B.4.2-3 Přívodní podlahová vyústka obývací pokoj¹³

¹² Elektrodesign rozdělovací box EDF-PL-BOX-125-6x75 [online]; [cit. 2018-4-1]. URL: <<http://www.elektrodesign.cz/web/data-1/rozmerove-nacrty/EDF-PL-BOX-125-6x75-rozmary.jpg>>

¹³ Elektrodesign připojovací box EDF-P-BOX-1x75 [online]; [cit. 2018-4-1]. URL: <<http://www.elektrodesign.cz/web/data-1/rozmerove-nacrty/EDF-P-box-1x75rozmary.JPG>>



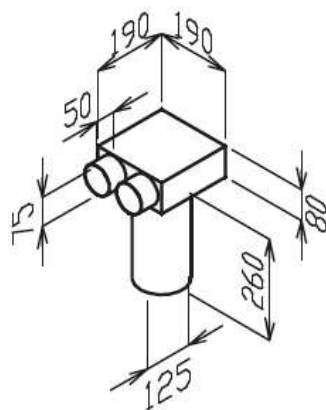
Obrázek B.4.2-4 Přívodní podlahová vyústka dětský pokoj¹⁴

B.4.2.2 Kuchyň

V kuchyni je osazen pouze odvod z důvodu vzniku nečistot. Vzduch je nasáván z vedlejších místností, především z obývacího pokoje. Odvodní prvky je vhodné umisťovat u stropu nebo na stěnu do výšky alespoň 2 m. Znečištěný vzduch stoupá a drží se pod stropem. Proto je potrubí v rohu za kuchyňskou linkou vyvedeno do výšky 2,4 m, kde je umístěna vyústka nad horní kuchyňskou skříňkou. Pro odvod z kuchyně jsou přivedeny 2 potrubí s celkovým odtahem 50 m³/h. Pro odvod z celého bytu by mohl být využit pouze jeden rozdělovací box, bohužel kvůli dispozici bylo nutné použít dva.

V tomto případě tedy rozdělujeme odvodní potrubí na 2 menší, které vedeme do kuchyně, kde jsou následně spojeny do vyústky. Pro rozdělení i spojení je využita podobná tvarovka. Pro rozdělení ve strojovně rozdělovací box EDF-SK-BOX-125/2x75 a pro spojení v kuchyni připojovací box EDF-SK-BOX-100/2x75, kde nám stačí pouze talířový ventil o průměru 100 mm. V případě rozdělení je dovedeno potrubí o průměru 125 mm. V případě odvodní vyústky je osazen talířový ventil na tvarovku, která dále rozděluje vzduchu do dvou trubek.

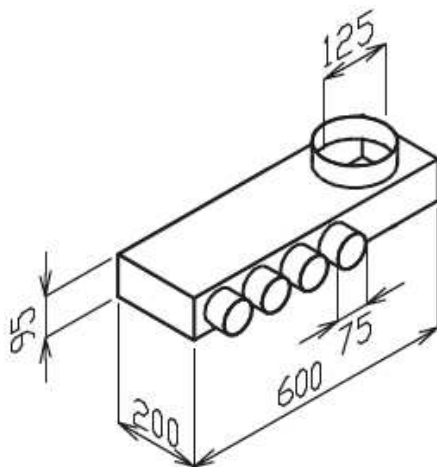
¹⁴ Elektrodesign připojovací box EDF-P-BOX-2x75 [online]; [cit. 2018-4-1]. URL: <<http://www.elektrodesign.cz/web/data-1/rozmerove-nacrty/EDF-P-BOX-2x75-215x102-rozmary.jpg>>



Obrázek B.4.2-5 Rozdělovací box pro kuchyň¹⁵

B.4.2.3 Koupelna

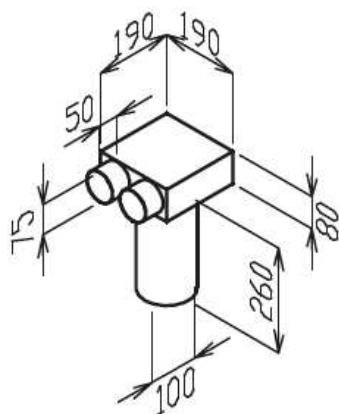
V koupelně je odváděno největší množství vzduchu. Je totiž největším zdrojem vlhkosti. Nachází se zde sprcha, vana, WC a umyvadlo. Je zde využito stoupaček pro umístění odvodních vyústek. Potrubí je vedeno v podloze až do stoupačky, kde je vyvedeno nahoru do výšky 2 m. V této výšce jsou pak osazeny dvě odvodní vyústky. Celkem je z koupelny odváděno 90 m³/h vzduchu. Vyústky jsou typu EDF-SK-BOX-100/2x75 na kterých je osazený talířový ventil. Pro rozdělní je využit rozdělovací box EDF-PL-BOX 125/4x75.



Obrázek B.4.2-6 Rozdělovací box pro koupelnu¹⁶

¹⁵ Elektrodesign připojovací box EDF-SK-BOX-125-2x75 [online]; [cit. 2018-4-1]. URL: <http://www.elektrodesign.cz/web/data-1/hlavni-obrazky/ALUFLEX_HYGHlavni.jpg>

¹⁶ Elektrodesign připojovací box EDF-PL-BOX-125-4x75 [online]; [cit. 2018-4-1]. URL: <<http://www.elektrodesign.cz/web/data-1/rozmerove-nacrty/EDF-PL-BOX-125-4x75rozmary.jpg>>



Obrázek B.4.2-7 Stěnová odvodní vyústka pro talířový ventil¹⁷

B.4.2.4 Strojovna

Ve strojovně je pouze odvodní vyústka, která je umístěna do kruhového potrubí. Odvod ze strojovny je 50 m³/h. Pro takovýto průtok stačí talířový ventil o průměru 80 mm.



Obrázek B.4.2-8 Vyústka do kruhového potrubí¹⁸

B.4.2.5 Pokoj s předsíní

Do pokoje je nutné dovést 50 m³/h vzduchu a do předsíně 15 m³/h. Proto jsou potřeba celkem tři potrubí ED Flex. Je využitý stejný rozdělovací box jako v koupelně EDF-PL-BOX 125/4x75. Jedna odbočka není využita, proto je zaslepena. Do pokoje vedou dvě

¹⁷ Elektrodesign připojovací box EDF-SK-BOX-100-2x75 [online]; [cit. 2018-5-1]. URL: <<http://www.elektrodesign.cz/web/data-1/rozmerove-nacrty/EDF-SK-BOX-100-2x75rozmary.jpg>>

¹⁸ Elektrodesign talířový ventil [online]; [cit. 2018-6-1]. URL: <<http://www.elektrodesign.cz/web/data-1/hlavni-obrazky/Kihlavni.jpg>>

potrubí, která jsou následně napojena na přípojovací box EDF-P-BOX-2x75 – 215x102. Do předsíně vede jedno potrubí, které je připojeno na EDF-P-BOX-1x75/90. Oba typy přípojovacích boxů jsou využity také v obývacím pokoji.

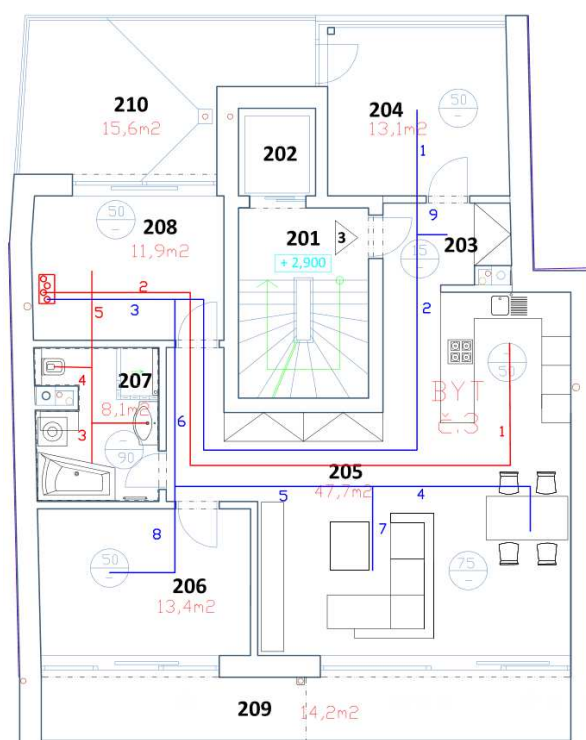
B.4.3 Závěr

Návrh koncepce větrání s využitím systému ED Flex je velice snadné. V sortimentu nabízí široký výběr prvku pro různé potřeby systému. Jako velkou nevýhodu vidím nepřesnost návrhu, kdy nám výrobce neposkytuje dostatečné informace pro výpočet tlakový ztrát použitých výrobků. Jde především o rozdělovací a přípojovací boxy, kde nám tlakovou ztrátu udává výrobce pouze přibližně. Ovšem pro vzduchotechniku rodinného domu nebo bytu je toto řešení zajímavé a pokud by byly lépe zpracovány podklady, nevidím problém ve využití tohoto systému.

B.5 Distribuce vzduchu – Varianta II

Ve druhé variantě návrhu potrubí je hlavním prvkem potrubí semiflex o průměru 160 mm, které tvoří hlavní rozvody. Z hlavních rozvodů k vyústkám vede flexibilní potrubí.

Potrubí jsou umístěna do podhledu. Všechny koncové elementy jsou umístěny na strop.



Obrázek B.4.3-1 Schéma pro dimenzování potrubí v podhledu

B.5.1 Dimenzování potrubí

Potrubí ve druhé variantě je potrubí semiflex. Z potrubí semiflex k vyústkám pak vede flexibilní potrubí. Pro výpočet tlakových ztrát potrubí semiflex o průměru 160 mm, jsou využita data naměřená v experimentu. Pro stanovení tlakových ztrát celého potrubí by

bylo nutné udělat rozsáhlejší měření, kvůli změřením i menších průměrů, které jsou v návrhu využity.

V následujících tabulkách je počítáno s hodnotami od výrobce a s naměřenými hodnotami v rámci experimentu. Při použití hodnot z experimentu je tlaková ztráta potrubí o něco větší. Ovšem v součtu všech tlakových ztrát rozdíl není výrazný.

Tabulka B.5.1-1 Dimenzování potrubí v pohledu přírodní

#	V	L	v´	S	d´	d	v	R	R	ξ	ξ	Z	R*L	Z + R*L	Z + R*L
Označení úseku	Průtok vzduchu v úseku	Délka úseku	Předběžná rychlost	Předběžná plocha potrubí	Předběžný rovnocenný průměr	Skutečný průměr potrubí	Skutečná rychlost	Tlaková ztráta třením v potrubí naměřené	Tlaková ztráta třením v potrubí výrobce	Součinitel odporu tvarovek naměřené	Součinitel odporu tvarovek naměřené	Tlaková ztráta místními odpory	Tlaková ztráta třením	Celková tlaková ztráta výrobce	Celková tlaková ztráta
[-]	[m³/h]	[m]	[m/s]	[m²]	[m]	[m]	[m/s]	[Pa/m]	[Pa/m]	[-]	[-]	[Pa]	[Pa]	[Pa]	[Pa]
Hlavní větev – přírodní															
1	50	2,6	3	0,005	0,077	0,08	2,76	-	2	-	1,2	-	5,2	10,70	-
2	65	13	3	0,006	0,088	0,1	2,30	-	1,3	-	2,1	-	16,38	23,04	-
3	190	3	4	0,013	0,13	0,16	2,62	2	1,8	0,857	0,9	3,72	6	9,12	9,72
										celkem			43,46		
										vyústka			26		
										regulace			20		
										tlumič hluku			25		
Celková tlaková ztráta hlavní větve přírodního potrubí - varianta I														114,5	

Tabulka B.5.1-2 Dimenzování potrubí v pohledu přírodní 2.

#	V	L	v'	S	d'	d	v	R	R	ξ	ξ	Z	R*L	Z + R*L	Z + R*L
Označení úseku	Průtok vzduchu v úseku	Délka úseku	Předběžná rychlost	Předběžná plocha potrubí	Předběžný rovnocenný průměr	Skutečný průměr potrubí	Skutečná rychlost	Tlaková ztráta třením v potrubí naměřené	Tlaková ztráta třením v potrubí výrobce	Součinitel odporu tvarovek naměřené	Součinitel odporu tvarovek naměřené	Tlaková ztráta místními odpory	Tlaková ztráta třením	Celková tlaková ztráta výrobce	Celková tlaková ztráta
[-]	[m³/h]	[m]	[m/s]	[m²]	[m]	[m]	[m/s]	[Pa/m]	[Pa/m]	[-]	[-]	[Pa]	[Pa]	[Pa]	[Pa]
Hlavní větev – přírodní															
4	50	4	2	0,007	0,094	0,08	2,76	-	2	-	1,2	-	8	13,497	-
5	75	4,1	2	0,01	0,115	0,13	1,70	-	1,3	-	1,8	-	5,33	8,44259	-
6	125	3,9	2	0,017	0,149	0,16	1,73	1	1	2,1	1,8	3,22	3,9	7,65773	7,12
										celkem				29,06	
										výústka				15	
										regulace				20	
										tlumič hluku				25	
Celková tlaková ztráta vedlejší přírodního potrubí - varianta I														89,1	
7	50	2,1	2	0,007	0,094	0,1	1,77	1	1	-	1,2	2,25	2,1	-	4,35
8	50	3,2	2	0,007	0,094	0,1	1,77	1	1	-	1,2	2,25	3,2	-	5,45
9	15	0,8	2	0,002	0,052	0,08	0,83	1	1	-	1,2	0,49	0,8	-	1,29

Tabulka B.5.1-3 Dimenzování potrubí v pohledu sání

#	V	L	v'	S	d'	d	v	R	R	ξ	ξ	Z	R*L	Z + R*L	Z + R*L
Označení úseku	Průtok vzduchu v úseku	Délka úseku	Předběžná rychlost	Předběžná plocha potrubí	Předběžný rovnocenný průměr	Skutečný průměr potrubí	Skutečná rychlost	Tlaková ztráta třením v potrubí naměřené	Tlaková ztráta třením v potrubí výrobce	Součinitel odporu tvarovek naměřené	Součinitel odporu tvarovek naměřené	Tlaková ztráta místními odpory	Tlaková ztráta třením	Celková tlaková ztráta výrobce	Celková tlaková ztráta
[-]	[m³/h]	[m]	[m/s]	[m²]	[m]	[m]	[m/s]	[Pa/m]	[Pa/m]	[-]	[-]	[Pa]	[Pa]	[Pa]	[Pa]
Sání															
1	190	3,5	4	0,013	0,13	0,13	4,30	-	4	-	1,2	-	-	27,32	-
										Žaluzie			25		
										Předehřev			10		
										tlumič hluku			25		
celkem														87,32	

Tabulka B.5.1-4 Dimenzování potrubí v pohledu odvodnění

#	V	L	v'	S	d'	d	v	R	R	ξ	ξ	Z	R*L	Z + R*L	Z + R*L
Označení úseku	Průtok vzduchu v úseku	Délka úseku	Předběžná rychlost	Předběžná plocha potrubí	Předběžný rovnocenný průměr	Skutečný průměr potrubí	Skutečná rychlost	Tlaková ztráta třením v potrubí naměřené	Tlaková ztráta třením v potrubí výrobce	Součinitel odporu tvarovek naměřené	Součinitel odporu tvarovek naměřené	Tlaková ztráta místními odpory	Tlaková ztráta třením	Celková tlaková ztráta výrobce	Celková tlaková ztráta
[-]	[m³/h]	[m]	[m/s]	[m²]	[m]	[m]	[m/s]	[Pa/m]	[Pa/m]	[-]	[-]	[Pa]	[Pa]	[Pa]	[Pa]
Hlavní větev – odvodní															
1	50	15	2	0,007	0,094	0,1	1,77	-	1	-	3	-	-	20,44	-
2	190	4	3	0,018	0,15	0,16	2,62	2,1	1,6	0,6	0,6	2,48	8,295	8,80053	10,78
										celkem			31,21		
										vyústka			15		
										regulace			20		
										rozdělovací box			25		
										tlumič hluku			25		
Celková tlaková ztráta odvodního potrubí - varianta I														116,2	
3	30	1,5	2	0,004	0,073	0,1	1,06	-	1	-	3	-	-	3,53	-
4	60	1,2	2	0,008	0,103	0,1	2,12	2,1	1,6	0,6	0,6	1,62	2,52	3,54	4,14
5	90	1,5	3	0,008	0,103	0,1	3,18	-	1	-	3	-	-	19,74	-
Celková tlaková ztráta odvodního potrubí - varianta I														26,8	
ost.	30	1	2	0,004	0,073	0,08	1,66	-	0,9	-	0,6	-	-	1,89	-

Tabulka B.5.1-5 Dimenzování potrubí v pohledu výfuk

#	V	L	v'	S	d'	d	v	R	R	ξ	ξ	Z	R*L	Z + R*L	Z + R*L
Označení úseku	Průtok vzduchu v úseku	Délka úseku	Předběžná rychlost	Předběžná plocha potrubí	Předběžný rovnocenný průměr	Skutečný průměr potrubí	Skutečná rychlost	Tlaková ztráta třením v potrubí naměřené	Tlaková ztráta třením v potrubí výrobce	Součinitel odporu tvarovek naměřené	Součinitel odporu tvarovek naměřené	Tlaková ztráta místními odpory	Tlaková ztráta třením	Celková tlaková ztráta výrobce	Celková tlaková ztráta
[-]	[m³/h]	[m]	[m/s]	[m²]	[m]	[m]	[m/s]	[Pa/m]	[Pa/m]	[-]	[-]	[Pa]	[Pa]	[Pa]	[Pa]
Výfuk															
1	190	8	4	0,013	0,13	0,13	4,30	-	4	-	1,8	-	-	51,98	-
										Žaluzie			25		
										tlumič hluku			25		
celkem														101,98	

B.5.2 Prvky potrubí

Potrubí ve druhé variantě se skládá z potrubí Semiflex a flexibilního potrubí Aluflex.



Obrázek B.5.2-1 Použité potrubí¹⁹

Jako koncové distribuční elementy jsou zvoleny talířové ventily. Které jsou určeny jak pro odvod, tak pro přívod.



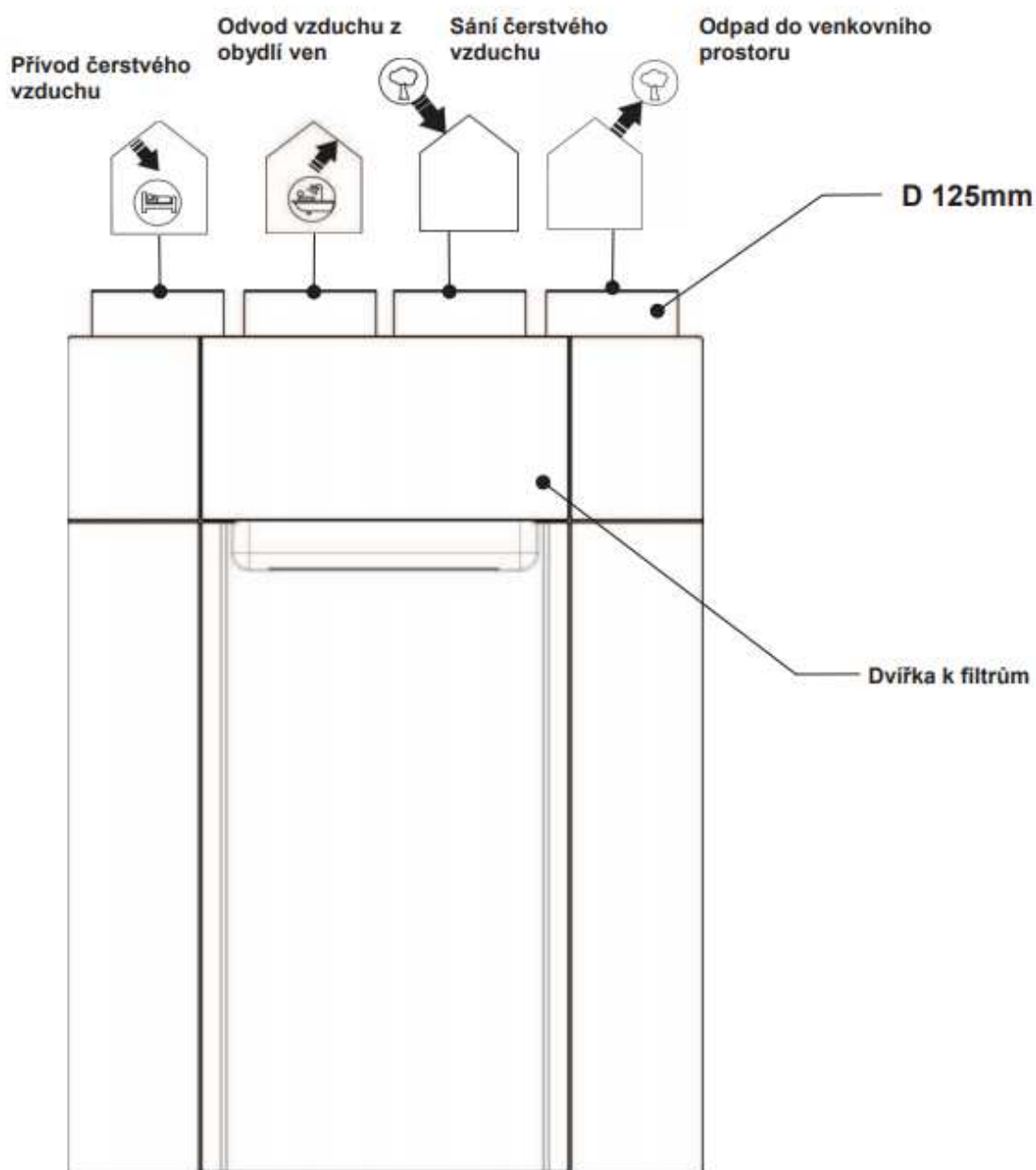
Obrázek B.5.2-2 Přívodní a odvodní talířový ventil²⁰

¹⁹ Elektrodesign Semiflex [online]; [cit. 2018-4-1]. URL: <http://www.elektrodesign.cz/web/data-1/hlavni-obrazky/SEMIFLEX-STAND_PROFI-hlavni.jpg_3.tbl>

²⁰ Elektrodesign talířový ventil [online]; [cit. 2018-6-1]. URL: <<http://www.elektrodesign.cz/web/data-1/hlavni-obrazky/KIhlavni.jpg>>

B.6 Vzduchotechnická jednotka

Pro obě varianty návrhu je navržena stejná vzduchotechnická jednotka DOMEO 210 FL, která má maximální průtok $210 \text{ m}^3/\text{h}$ při tlaku 100 Pa . V našem případě je potřeba průtok $190 \text{ m}^3/\text{h}$, proto je jednotka pro toto využití vhodná. Vzduchotechnická jednotka je určena pro nucenou výměnu vzduchu a zpětné získávání tepla.

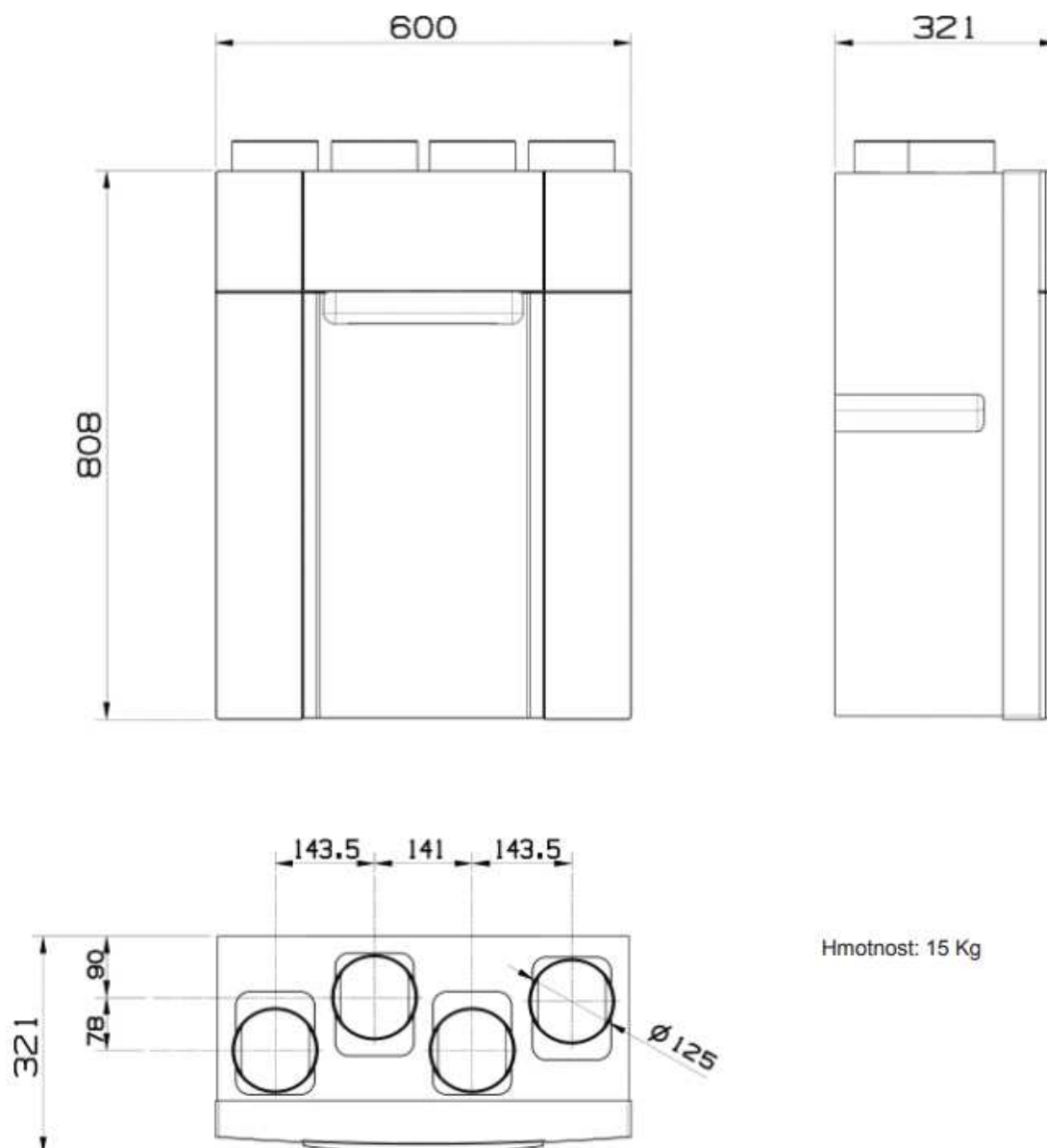


Obrázek B.5.2-1 Vzduchotechnická jednotka DOMEO 210 FL²¹

²¹ Elektrodesign jednotka DOMEO 210 FL [online]; [cit. 2018-6-1]. URL: <<http://www.elektrodesign.cz/web/download/37948>>

B.6.1 Obecné informace

Jednotka je určena pro upevnění na stěnu.

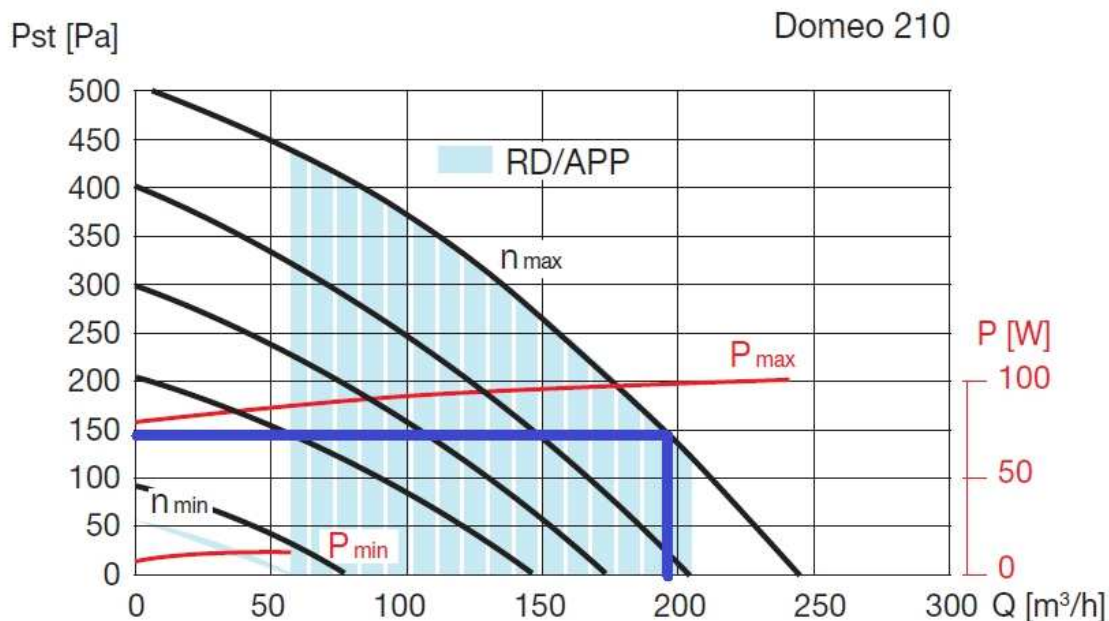


Obrázek B.6.1-1 Rozměry jednotky Domeo 210 FL²¹

Na sání odpadního vzduchu je filtr třídy G4 a na sání čerstvého vzduchu je filtr M5. Přístup k nim je po vytažení servisního víka filtrů na čelní straně jednotky. K vyjmutí nejsou třeba žádné nástroje.

Na sání odpadního vzduchu a sání čerstvého vzduchu je větrací jednotka vybavena radiálními ventilátory s dozadu zahnutými lopatkami a s EC elektromotory.

B.6.2 Charakteristika jednotky



Obrázek B.6.2-1 Charakteristika jednotky Domeo 210 FL²¹

V grafu je vidět, že pro náš potřebný průtok 190 m³/h je maximální dopravní tlak 150 Pa. Z dimenzování obou variant nám tlakové ztráty vyšly menší, proto je vzduchotechnická jednotka pro naše využití vhodná.

B.6.3 Hluk

Akustický výkon ve středu oktávových pásem [dB(A)] – výtlak									
Q (m³/h)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	L _{WA} tot
60	10	12	15	22	19	17	15	14	26
105	19	31	43	49	50	45	34	22	53
150	27	34	51	55	57	52	45	29	61
180	25	37	49	59	62	57	52	36	64
210	29	41	53	62	66	61	55	39	69

Akustický výkon ve středu oktávových pásem [dB(A)] – do okolí									
Q (m³/h)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	L _{WA} tot
60	12	24	40	43	39	41	22	16	47
105	18	30	45	49	45	47	27	22	53
150	23	33	50	53	49	49	35	23	57
180	34	38	49	55	54	50	42	28	59
210	36	40	51	57	56	52	44	30	61

Akustický výkon ve středu oktávových pásem [dB(A)] – sání									
Q (m³/h)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	L _{WA} tot
60	10	12	15	22	19	17	15	14	26
105	18	19	23	29	27	24	23	22	33
150	21	23	27	35	34	30	24	23	39
180	22	27	30	37	38	34	24	21	42
210	25	29	33	40	41	37	27	24	45

Obrázek B.6.3-1 Akustický výkon jednotka Domeo 210 FL²¹

Každá vzduchotechnická jednotka vyvozuje určitý akustický výkon neboli hluk. Maximální povolená hodnota akustického tlaku je 30 dB v nočních hodinách a 40 dB v denních hodinách dle nařízení vlády č. 272/2011 Sb.²²

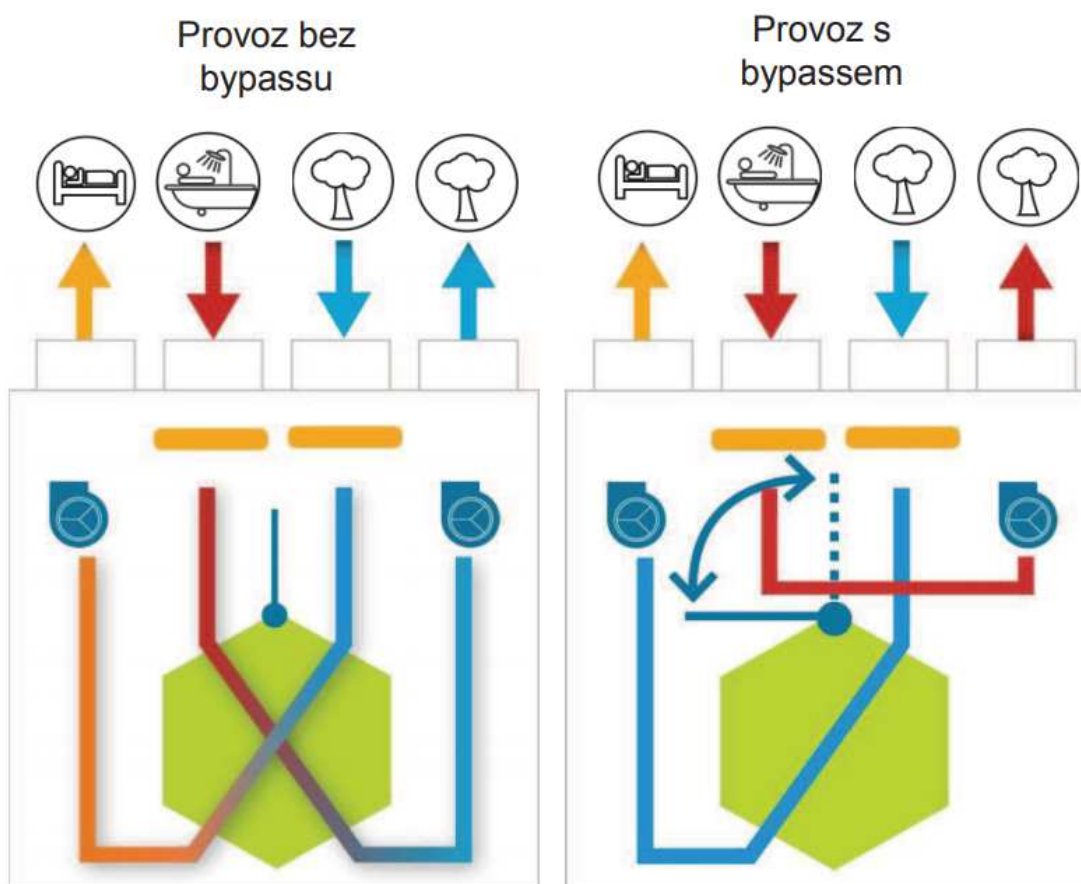
V tomto případě bude jednotka v provozu i v nočních hodinách proto je nutné na potrubí osadit tlumiče hluku, které zabrání šíření hluku potrubím do obytných místností.

B.6.4 Zpětné získávání tepla

Jednotka umožňuje zpětné získávání tepla, které je vhodné zejména pro chladné období. Umožňuje získávání tepla z odpadního vzduchu a předávání čerstvému přívodnímu vzduchu.

V jednotce je umístěn protiproudý deskový výměník z plastu s účinností až 92 %. Pro případ nutnosti vézt vzduch mimo výměník je jednotka vybavena obtokem (bypasem).

Výrobce doporučuje pro oblasti, kde jsou teploty často pod -5 °C, instalovat přehřev vzduchu. Řešený objekt je v městě Brno, kde se teploty pod -5 °C dostanou jen občas. Přesto je na přívodní potrubí osazen přehřev, který bude využíván jen v případě výrazného poklesu teploty.



Obrázek B.6.4-1 Provoz s a bez bypassu²¹

²² nařízení vlády č. 272/2011 Sb.

B.7 Úprava vzduchu

B.7.1 Letní období

VÝPOČET REKUPERÁTORU - ZT REKUPERACÍ TEPELNÉ ENERGIE

Ilak: kPa

Nadmořská výška: m

Termická účinnost (základní / celková): %

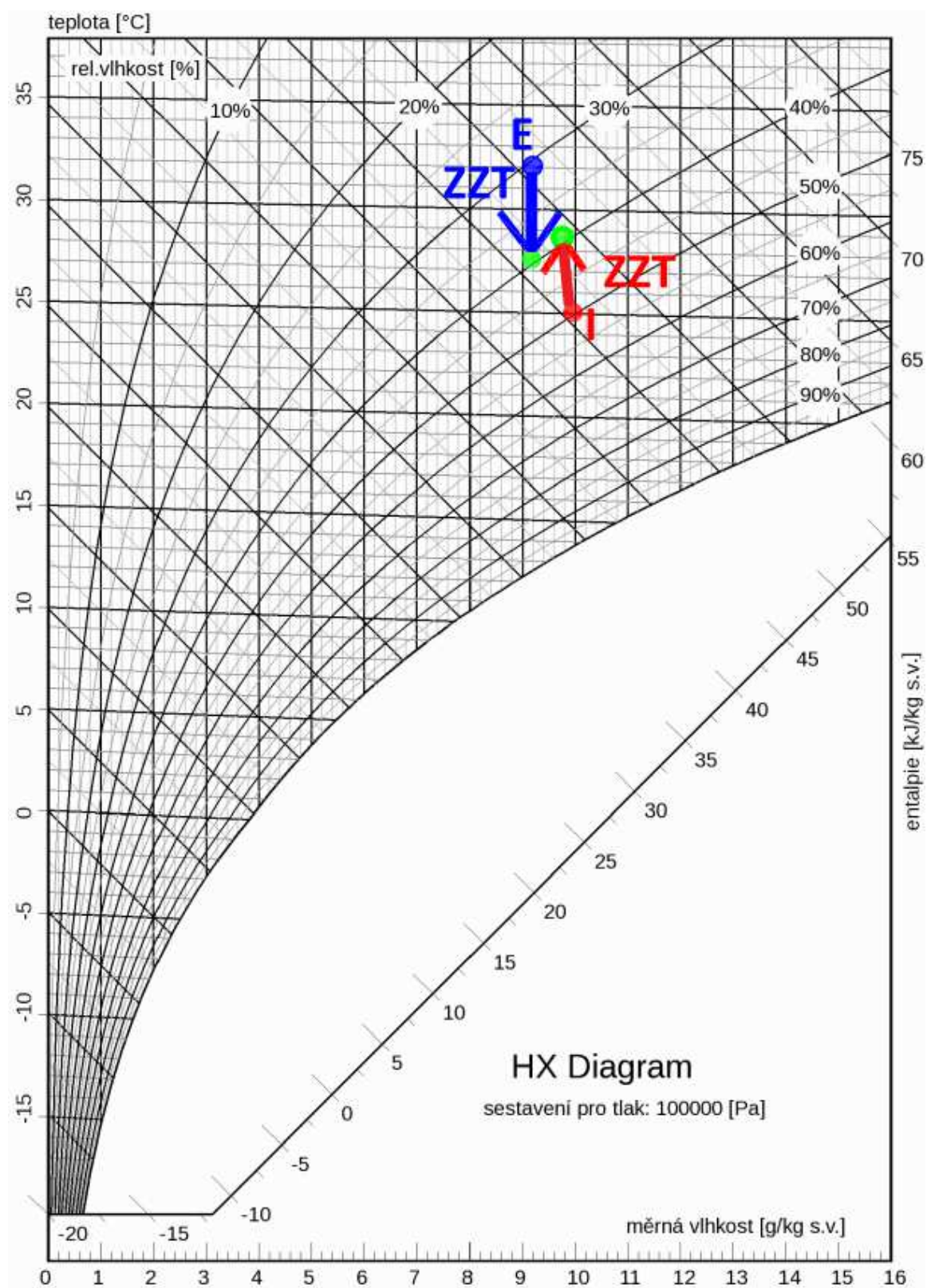
Typ výměníku:

	PŘÍVOD VSTUP	ODTAH VSTUP	
Teplota: <input type="text" value="32"/>	<input type="text" value="25"/>	<input type="text" value="25"/>	°C
Relativní vlhkost: <input type="text" value="31"/>	<input type="text" value="50"/>	<input type="text" value="50"/>	%
Měrná vlhkost: <input type="text" value="9.186"/>	<input type="text" value="9.884"/>	<input type="text" value="9.884"/>	g/kg
Objemový průtok: <input type="text" value="190"/>	<input type="text" value="190"/>	<input type="text" value="190"/>	m ³ /h
Měrná hmotnost: <input type="text" value="1.15"/>	<input type="text" value="1.177"/>	<input type="text" value="1.177"/>	kg/m ³
Teplota rosného bodu: <input type="text" value="12.75"/>	<input type="text" value="13.86"/>	<input type="text" value="13.86"/>	°C
Entalpie: <input type="text" value="55.83"/>	<input type="text" value="50.42"/>	<input type="text" value="50.42"/>	kJ/kg

	PŘÍVOD VÝSTUP	ODTAH VÝSTUP	
Teplota: <input type="text" value="27.42"/>	<input type="text" value="29.47"/>	<input type="text" value="29.47"/>	°C
Relativní vlhkost: <input type="text" value="40.32"/>	<input type="text" value="38.49"/>	<input type="text" value="38.49"/>	%
Měrná vlhkost: <input type="text" value="9.186"/>	<input type="text" value="9.884"/>	<input type="text" value="9.884"/>	g/kg
Objemový průtok: <input type="text" value="187.2"/>	<input type="text" value="192.8"/>	<input type="text" value="192.8"/>	m ³ /h
Měrná hmotnost: <input type="text" value="1.168"/>	<input type="text" value="1.159"/>	<input type="text" value="1.159"/>	kg/m ³
Teplota rosného bodu: <input type="text" value="12.75"/>	<input type="text" value="13.86"/>	<input type="text" value="13.86"/>	°C
Entalpie: <input type="text" value="51.13"/>	<input type="text" value="55.02"/>	<input type="text" value="55.02"/>	kJ/kg

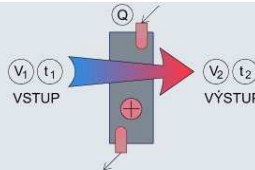
Obrázek B.7.1-1 Zpětné získávání tepla léto²³

²³ Technika prostředí výpočet změny při zpětném získávání tepla [online]; [cit. 2018-9-1]. URL: <<http://www.qpro.cz/Psychrometricke-vypocty-Strana-7>>



Obrázek B.7.1-2 Zpětné získávání tepla léto h-x diagram

B.7.2 Zimní období



VÝPOČET OHŘEVU VZDUCHU - TEPELNÝ VÝMĚNÍK

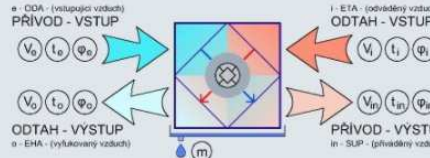
tlak: kPa
 Nadmořská výška: m

	VSTUP	VÝSTUP	
Teplota:	-12	-6.35	°C
Relativní vlhkost:	90	54.6	%
Měrná vlhkost:	1.23	1.23	g/kg
Objemový průtok:	190	194.1	m³/h

VYPOČÍTAT **VYMAZAT**

Měrná hmotnost:	1.32	1.29	kg/m³
Teplota rosného bodu:	-13.2	-13.2	°C
Entalpie:	-9.071	-3.351	kJ/kg
Teplotní výkon:	0.3975		kW

Obrázek B.7.2-1 Předehřev zima²⁴



VÝPOČET REKUPERÁTORU - ZT REKUPERACÍ TEPELNÉ ENERGIE

tlak: kPa
 Nadmořská výška: m
 Termická účinnost (základní / celková): %
 Typ výměníku:

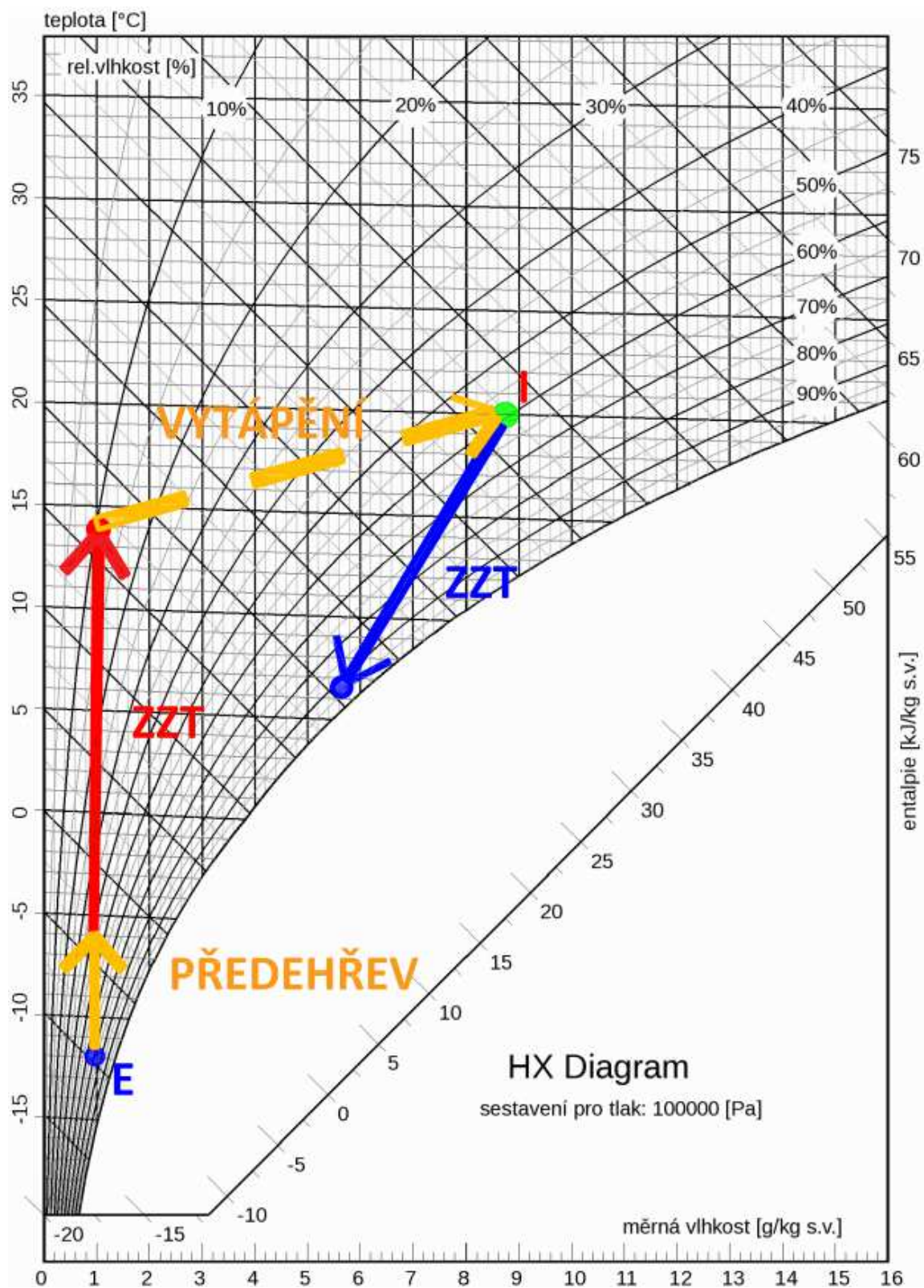
	PŘÍVOD VSTUP	ODTAH VSTUP	
Teplota:	-6.35	20	°C
Relativní vlhkost:	53	60	%
Měrná vlhkost:	1.194	8.955	g/kg
Objemový průtok:	190	190	m³/h
Měrná hmotnost:	1.291	1.169	kg/m³
Teplota rosného bodu:	-13.5	12.01	°C
Entalpie:	-3.444	42.92	kJ/kg

	PŘÍVOD VÝSTUP	ODTAH VÝSTUP	
Teplota:	13.65	6.238	°C
Relativní vlhkost:	12.12	93.37	%
Měrná vlhkost:	1.194	5.634	g/kg
Objemový průtok:	204.2	180.1	m³/h
Měrná hmotnost:	1.201	1.229	kg/m³
Teplota rosného bodu:	-13.5	5.25	°C
Entalpie:	16.8	20.45	kJ/kg

Obrázek B.7.2-2 Zpětné získávání tepla zima²⁵

²⁴ Technika prostředí ohřívač [online]; [cit. 2017-9-1]. URL: <<http://www.qpro.cz/Psychrometricke-vypocty-Strana-1>>

²⁵ Technika prostředí výpočet změny při zpětném získávání tepla [online]; [cit. 2018-9-1]. URL: <<http://www.qpro.cz/Psychrometricke-vypocty-Strana-7>>



Obrázek B.7.2-3 Zpětné získávání tepla zima

B.8 Technická zpráva

B.8.1 Úvod

Předmětem projektové dokumentace je vzduchotechnické zařízení pro bytovou jednotku v druhém patře bytového domu. Cílem návrhu je zajištění dostatečné výměny vzduchu a zpětné získávání tepla.

Podklady pro zpracování:

- Výkresy zadaného objektu,
- příslušné zákony, vyhlášky a normy
 - nařízení vlády č. 272/2011 Sb. – O ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací,
 - norma ČSN EN 15665/Z1 – Požadavky na větrání obytných budov,
 - vyhláška 20/2012 Sb.,
 - 268/2009 Sb. – O technických požadavcích na stavby,
 - Elektrodesign – podklady výrobce.

Návrhové klimatické podmínky

Objekt se nachází ve městě Brno. Zimní návrhová venkovní teplota je $-12\text{ }^{\circ}\text{C}$ a relativní vlhkost 90 %. Letní návrhová teplota je $32\text{ }^{\circ}\text{C}$ a měrná entalpie 56 kJ/kg.

Návrhové hodnoty vnitřního prostředí

Požadovaná teplota vnitřního prostředí je $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ a relativní vlhkost minimálně 30 %. Maximální hodnota akustického tlaku je 30 dB pro obytné místnosti v nočních hodinách, pro denní hodiny je hodnota 40 dB.

Požadavky na nucené větrání

Dávka přiváděného vzduchu vychází z požadavků uvedených ve vyhlášce 20/2012 Sb., která nahradila vyhlášku 268/2009 Sb. Ta udává dávku vzduchu na osobu $25\text{ m}^3/\text{h}$, nebo minimální intenzitu výměny vzduchu 0,5/h.

Dále norma ČSN EN 15665/Z1 udává minimální hodnotu dávky venkovního vzduchu na osobu $15\text{ m}^3/\text{h}$ a doporučenou $25\text{ m}^3/\text{h}$. Také udává minimální hodnotu intenzity větrání 0,3/h, ovšem pro vyšší kvalitu vnitřního vzduchu doporučuje intenzitu větrání 0,5 až 0,7/h.

Energetické zdroje

Elektrická energie je využívána pro elektrický přehřev čerstvého vzduchu v případě teplot nižších jak $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Dále je elektrická energie využívána pro provoz ventilátorů v jednotce.

B.8.2 Popis technického řešení

Jednotka je umístěna ve strojovně ve stejném podlaží jako obsluhovaný byt. Zajišťuje rovnotlaké větrání bytové jednotky. Jednotka je sestavena z ventilátorů, filtrů a protiproudého výměníku zpětného získávání tepla a obtoku.

Sání a výfuk jsou opatřeny protidešťovými žaluziemi.

Varianta I.

Doprava vzduchu je zajištěna kruhovým potrubím umístěným v podhledu. Potrubí hlavní větve je z potrubí Semiflex z něho je dále napojeno flexibilní potrubí dovedené k vyústkám.

Varianta II.

Doprava vzduchu je zajištěna potrubím vedeným v podlaze. Z jednotky vedou potrubí semiflex o průměru 125 mm, která jsou připojena na rozdělovací boxy. Boxy vzduch dále rozdělí do potrubí ED Flex o průměru 75 mm. To je dovedeno do připojovacích boxů, na které jsou osazeny vyústky.

B.8.3 Nároky na související profese

Stavební úpravy

- Zabudování potrubí do podlahy. Je nutné potrubí v podlaze zajistit a zalít betonem,
- opracování potrubí vedoucích ven z budovy a osazení žaluzií.

Silnoproud

- Připojení jednotky k elektrickému proudu,
- připojení potrubního předehřívače k elektrickému proudu.

Zdravotně technické instalace

- Odvod kondenzátu z jednotky.

B.8.4 Protihluková opatření

Proti šíření hluku jsou na potrubí umístěny tlumiče hluku. Jsou umístěny jak na potrubí vedoucí od jednotky do místností, tak i na potrubí vedoucí ven z jednotky.

B.8.5 Izolace a nátěry

Na sání a výfuk je nutné použít izolované potrubí z důvodu vzniku kondenzace. Proto je zde použito potrubí semiflex termo, které je izolované minerální vatou o tloušťce 25 mm.

B.8.6 Montáž, provoz, údržba a obsluha zařízení

- Montáž vzduchotechnického potrubí ve variantě I se provádí před vylitím podlah,
- montáž vzduchotechnického potrubí ve variante II se provádí upevněním ke stropní konstrukci před umístěním podhledu,
- montáž vzduchotechnické jednotky na stěnu je pomocí montážní konzoly, na kterou je jednotka pak osazena,
- montáž je prováděna podle montážních předpisů,
- po montáži jsou všechna zařízení vyzkoušena a zaregulována,
- uživatel je seznámen s funkcí, provozem a údržbou,
- vzduchotechnická zařízení jsou pravidelně kontrolována a servisována,
- výměna filtrů bude prováděna podle předpisů výrobku.

B.8.7 Závěr

Vzduchotechnické zařízení je navrženo tak, aby udržovalo požadovanou výměnu vzduchu po celý rok v bytové jednotce.

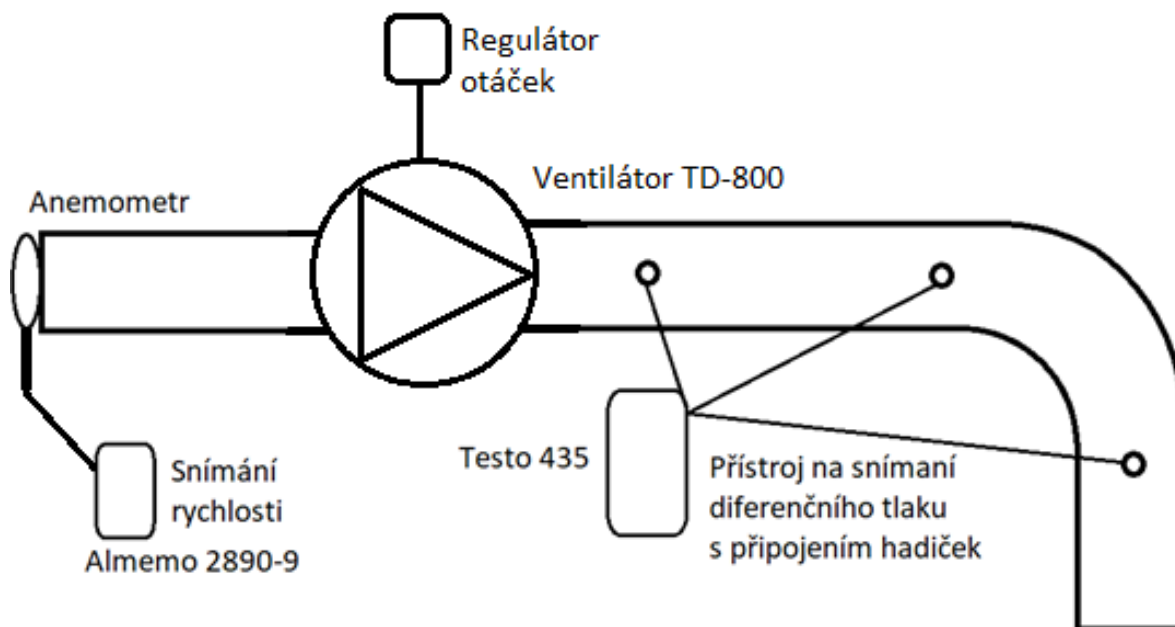
C. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

C.1 ÚVOD

Experimentální část diplomové práce se zabývá měřením tlakových ztrát ve vzduchotechnickém potrubí. Především jde o ztráty vřazenými odpory, což jsou ztráty způsobené změnou nebo narušením směru toku vzduchu. Změna může být způsobena kolenem, odbočkou, obloukem apod. Naměřené hodnoty budou následně porovnány s hodnotami z tabulek, s kterými při návrhu běžně počítáme.

C.2 Měřicí sestava

Pro měření tlakových ztrát bylo nutné sestavit měřicí sestavu, která se skládala z ventilátoru s regulací otáček, potrubí, lopatkového anemometru s centrálou a přístroje na měření diferenčního tlaku s hadičkami.



Obrázek B.8.7-1 Schéma měření

C.2.1 Použité přístroje

Všechny pomůcky byly vypůjčeny na fakultě stavební VUT Brno, kde bylo také měření prováděno.

Měřicí technika:

- **Almemo 2890-9 - měřicí ústředna²⁶**
 - Počet vstupů 9
 - Počet kanálů 36 (+4 interní)
 - Interní Display LCD, grafický, 128x128 bodů, 16 řádků, poosvětlený
 - A/D převodník 24 bit
 - Frekvence měření 2, 5, 10, 50 M/s 100m/s na SD kartu
 - Přesnost $\pm 0,02$ % z měřené hodnoty, ± 1 digit
 - Paměť 100 000 hodnot max/min
 - Analogový výstup 0,1 mV/digit
 - Rozhraní USB, RS232, ethernet, bluetooth
 - Napájení akupack 1,6 Ah, síťový adaptér
 - Čas, datum ano
 - Rozměry 204 x 109 x 44 mm
- **Testo 435-4 - snímač diferenčního tlaku²⁷**
 - Provozní teplota -20 až (+)50 °C
 - Typ baterie alkalické, mikrotužkové, typ AA
 - Typ senzoru sonda diferenčního tlaku
 - Měřicí rozsah 0 ... +25 hPa
 - Přesnost $\pm 0,02$ hPa při rozsahu 0 - ± 2 hPa
 ± 1 % z naměřené hodnoty (zbytek rozsahu)
 - Rozlišení 0,01 hPa
 - Rozměry 220 x 74 x 46 mm
- **Anemometrické čidlo FVAD15-SMA1²⁸**
 - Sonda pro měření rychlosti proudění vzduchu
 - Provozní teplota -20 až (+)140 °C
 - Měřicí rozsah 0,2 až 20 m/s
 - Průměr sondy 80 mm
 - Přesnost ± 1 % z rozsahu
 $\pm 1,5$ % z měřené hodnoty
 - Kabel 1,5 m s Almemo konektorem

²⁶ Porovnání přístrojů Almemo [online]. [cit. 2018-2-1]. URL: <<https://www.ahlborn.cz/out/pictures/wysiwigpro/Porovn%C3%A1n%C3%AD%20p%C5%99%C3%ADstroj%C5%AF%20ALMEMO.pdf>>

²⁷ Multifunkční přístroj testo 435-4 [online]. [cit. 2018-2-1]. URL: <<http://www.merici-pristroje.eu/Typ-pristroje/Multifunkcni-pristroje/Multifunkcni-pristroj-pro-klima-4354>>

²⁸ Anemometrické čidlo FVAD15-SMA1 [online]. [cit. 2018-2-1]. URL: <<https://www.ahlborn.cz/cidla-a-snimace/cidla-a-snimace-pro-fyzikalni-veliciny/snimace-proudeni-vzduchu/anemometricke-cidlo-fvad15-sma1.html>>

Prvky sestavy:

- Ventilátor s regulací otáček TD-800,
- potrubí semiflex \varnothing 160 mm,
- potrubí EDflex \varnothing 75 mm.



Obrázek C.2.1-1 Spojení ventilátoru s potrubím



Obrázek C.2.1-2 Oblouk potrubí s připojenými hadičkami

C.2.2 Postup měření

C.2.2.1 Sestavení měřicí sestavy

- Postavení ventilátoru do prostoru,
- připevnění potrubí na stranu sací i výlačnou,
- osazení pro redukce pro změnění průřezu na požadovanou velikost podle měřeného potrubí,
- připojení měřeného potrubí,
- olepení všech spojů páskou pro utěsnění.

C.2.2.2 Připojení měřících zařízení

- Umístění anemometru do výlačné části ventilátoru,
- připojení anemometru k měřicí ústředně Almemo,
- vytvoření dírek do měřeného potrubí pro vložení hadiček na měření tlaku,
- vložení a připevnění hadiček do dírek v potrubí,
- připojení hadiček do snímače diferenčního tlaku Testo.

C.2.2.3 Měření

- Vynulování snímače diferenčního tlaku,
- nastavení měřicí ústředny na měření rychlosti skrze lopatkový anemometr,
- zapnutí ventilátoru a měnění otáček pro každé měření,

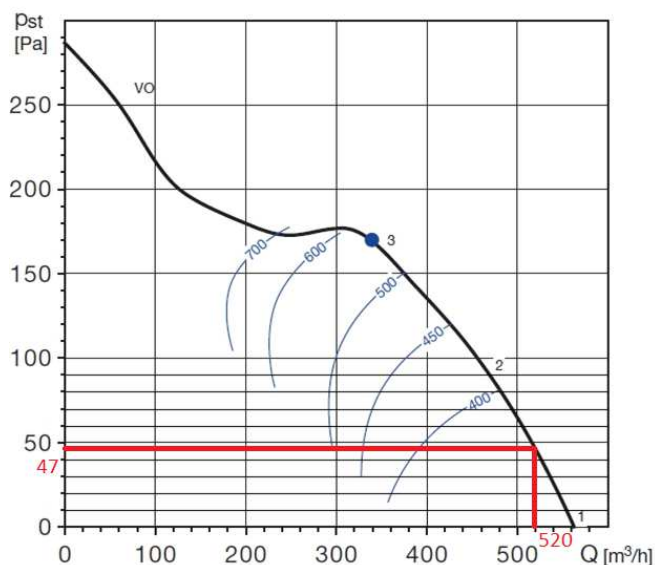
- pro každou změnu otáček zapisování rychlosti vzduchu a tlakové difference oproti okolí pro každé místo s otvorem v potrubí,
- pro každý ohyb měřeno 15 různých rychlostí s odpovídajícími tlaky v daných místech.

C.3 Tlakové ztráty

První měření byla provedena na tlumiči hluku pro vyzkoušení metodiky měření. Změřená data byla porovnána s údaji od výrobce. Dále už byly ztráty měřeny na ohebném potrubí, které se dá tvarovat do různě zahnutých oblouků s různým poloměrem zahnutí. Naměřené hodnoty pak byly zpracovány, vyhodnoceny a využity v rámci projektu.

C.3.1 Tlakové ztráty tlumiče

Při měření tlakových ztrát tlumiče bylo nejprve nutné zjistit průtok vzduchu tlumičem. Proto bylo nutné změřit tlak za ventilátorem, pomocí kterého jsme mohli z charakteristiky ventilátoru odečíst průtok. Dále bylo nutné měřit tlak před a za tlumičem hluku, abychom změřili tlakovou ztrátu tlumiče. Pak už jen stačilo dát do grafu průtok vzduchu a odpovídající tlakovou ztrátu tlumiče.

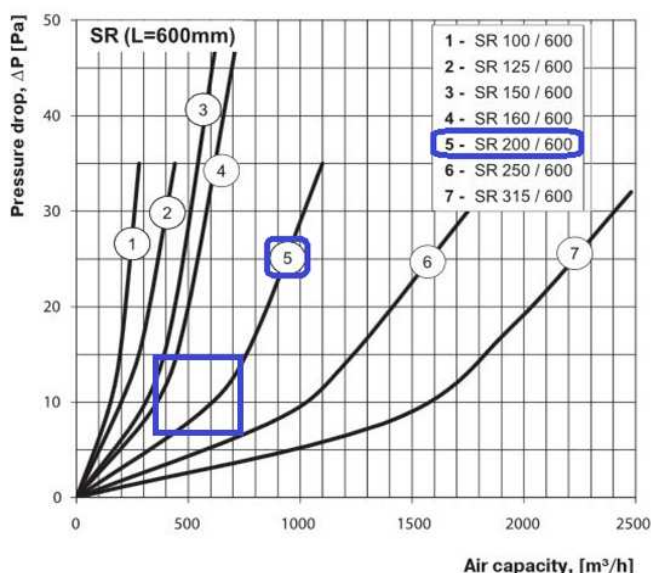


Obrázek C.3.1-1 Pracovní diagram ventilátoru ²⁹

²⁹ Elektrodesign ventilátor TD500-160 [online]; [cit. 2018-4-1]. URL: <<http://www.elektrodesign.cz/web/data-1/grafy/TD500-160Tgraf1.jpg>>

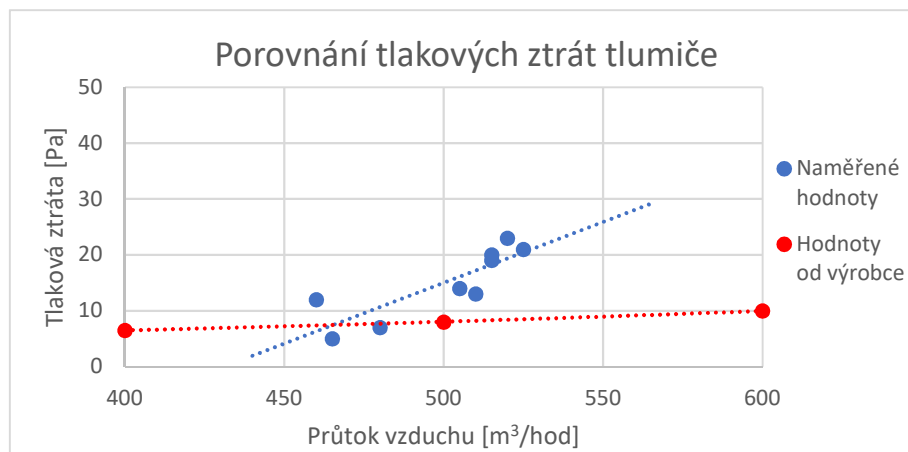
Tabulka C.3.1-1 Tlakové ztráty tlumiče hluku

Měření	Tlak před ventilátorem	Tlak za ventilátorem	Tlak za tlumičem	Průtok ventilátor	Tlaková ztráta tlumiče
[-]	[Pa]	[Pa]	[Pa]	[m ³ /hod]	[Pa]
1	40	47	24	520	23
2	33	95	83	460	12
3	39	56	43	510	13
4	34	49	30	515	19
5	35	45	24	525	21
6	33	49	29	515	20
7	35	93	88	465	5
8	33	75	68	480	7
9	36	61	47	505	14
10	34	50	20	517,5	30

Graf C.3.1-1 Tlakové ztráty tlumiče od výrobce³⁰

Ve zvýrazněné části grafu se vyskytovaly naše naměřené hodnoty. Hodnoty z grafu byly přeneseny do grafu s hodnotami naměřenými pro lepší porovnání. Modře jsou hodnoty naměřené a červeně hodnoty od výrobce. Hodnoty zhruba odpovídají údajům od výrobce, ale při vyšších průtocích je tlaková ztráta vyšší. Tento rozdíl může být způsoben nepřesností měření, malým počtem měřených hodnot, nebo z důvodu nečistot v tlumiči, které způsobují vyšší tlakové ztráty.

30 Charakteristika tlumiče hluku SR 200/600 [online]; [cit. 2018-4-1]. URL: <https://www.elektropaloucek.cz/bmz_cache/2/245711cad165db5e84ab7df913ecdb55.image.600x600.jpg>



Graf C.3.1-2 Porovnání tlakových ztrát tlumiče

V tomto měření šlo především o vyzkoušení metody. Při měření jsem si osvojil zacházení s přístroji a uvědomil si možné problémy při měření.

C.3.2 Tlakové ztráty vřazenými odpory

Při měření tlakových ztrát potrubí šlo o určení součinitele vřazeného odporu pro daný ohyb daného potrubí. Celkem jsem měřil dva druhy potrubí. Jedno pro zabudování do podlahy z polyethylenu o průměru 75 mm. Druhé z hliníku o průměru 160 mm.

Šlo o změření takových tvarů, které by mohli být následně použity pro dimenzování v rámci projektu. Pro měření jsem zvolil oblouku o úhlu 45° a 90° s různými poloměry zahnutí. S oběma druhy potrubí bylo měřeno celkem 6 ohybů.

C.3.2.1 Zpracování výsledků

Pro každý ohyb byla měřena tlaková ztráta pro patnáct odlišných rychlostí proudění vzduchu. Následně byly vyloučeny dvě hodnoty, které nejvíce vybočovaly a dalo se předpokládat, že byly zatíženy velkou chybou.

Pro určení součinitele vřazených odporů se vychází z tlakové ztráty ohybu a rychlosti vzduchu, jak je patrné ze vzorce (A.2) zmíněného už dříve.

$$\Delta p = (\xi \cdot \rho \cdot w^2)/2$$

Určení součinitele vřazených odporů bylo prováděno metodou odhadu. Kdy jsem odhadl součinitel vřazených odporů a pomocí rychlosti dopočítal tlakovou ztrátu ohybu a snažil se co nejlépe přiblížit hodnotě tlakové ztráty naměřené, pomocí zpřesňování hodnoty vřazených odporů.

C.3.2.2 Hliníkové potrubí 160 mm

Hliníkové potrubí s průměrem 160 mm, bylo dobře tvarovatelné. Potrubí drželo tvar, bylo vhodné pro vytváření různých ohybů. Byly to ohyby o úhlu 90° s poloměrem zahnutí

rovnému násobkům průměru potrubí. Konkrétně šlo o jedno, dvou a tři násobek průměru potrubí. Dále to byly ohyby o úhlu 45° se stejnými poloměry zahnutí.

C.3.2.2.1 Ohyb $r = 3t$; $\alpha = 90^\circ$

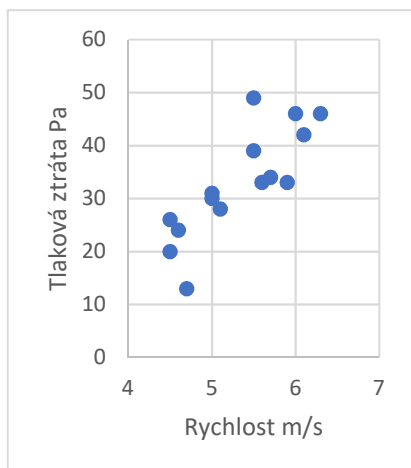


Obrázek C.3.2-1 Ohyb $r = 3t$; $\alpha = 90^\circ$

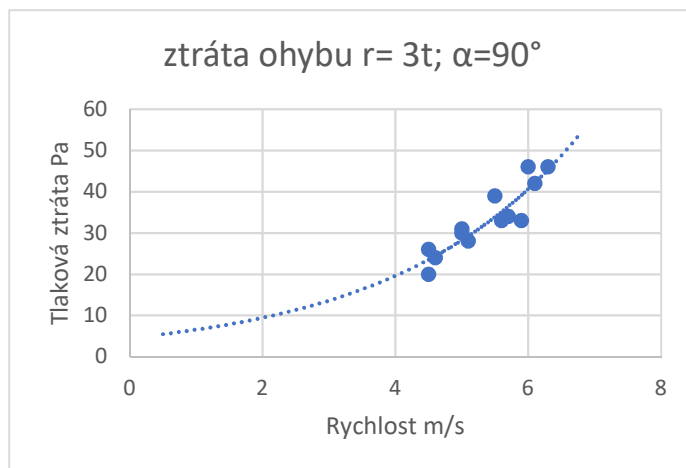
Tabulka C.3.2-1 Naměřené hodnoty ohyb $r = 3t$; $\alpha = 90^\circ$

$r = 3t$; $\alpha = 90^\circ$						
Rychlost	Tlak za ohybem	Tlak před ohybem	Tlaková ztráta ohybu	Tlak za ventilátorem	Tlaková ztráta ohybu vypočtená	Rozdíl tlakových ztrát ohybu (4-6)
1	2	3	4	5	6	7
m/s	Pa	Pa	Pa	Pa	Pa	Pa
4,7	91	104	13	135	25,129584	-12,129584
5,9	142	175	33	225	39,599856	-6,599856
5,6	103	136	33	172	35,675136	-2,675136
4,5	72	92	20	116	23,0364	-3,0364
5,7	112	146	34	188	36,960624	-2,960624
5	95	126	31	160	28,44	2,56
6,1	136	178	42	231	42,330096	-0,330096
4,6	69	93	24	115	24,071616	-0,071616
5,5	99	138	39	176	34,4124	4,5876
5	84	114	30	144	28,44	1,56
6	115	161	46	207	40,9536	5,0464
5,1	79	107	28	137	29,588976	-1,588976
5,5	106	155	49	195	34,4124	14,5876
4,5	68	94	26	117	23,0364	2,9636
6,3	134	180	46	230	45,151344	0,848656
					odhad ξ	0,474
					Suma	0,30355

Součinitel vřazených odporů vyšel 0,474.

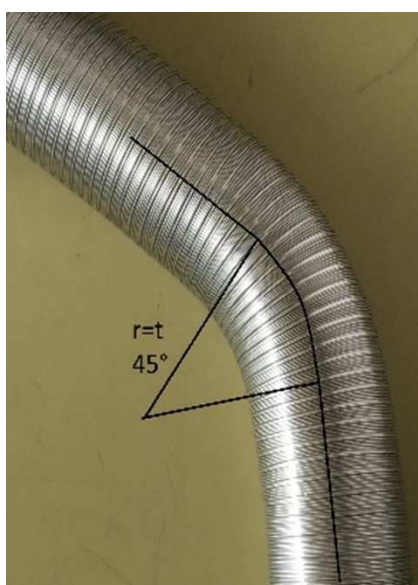


Graf C.3.2-2 Naměřené hodnoty $r=3t$; $\alpha=90^\circ$



Graf C.3.2-1 Zpracované naměřené hodnoty $r=3t$; $\alpha=90^\circ$

C.3.2.2.2 Ohyb $r=t$; $\alpha=45^\circ$

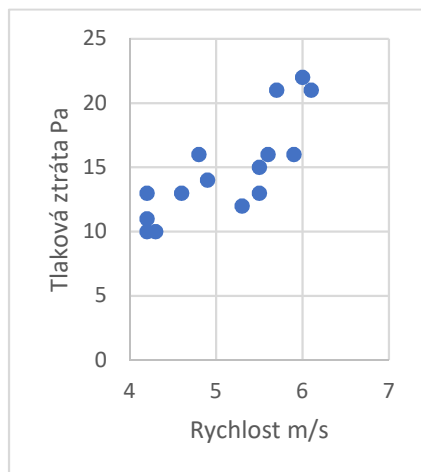


Obrázek C.3.2-2 Ohyb $r=t$; $\alpha=45^\circ$

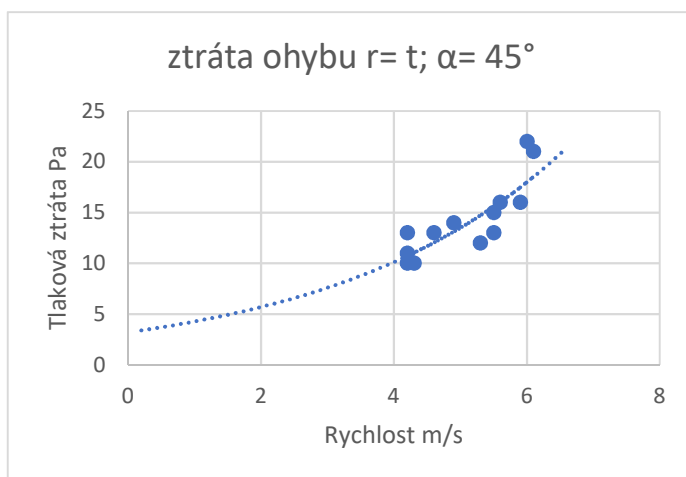
Tabulka C.3.2-2 Naměřené hodnoty ohyb $r = t$; $\alpha = 45^\circ$

$r = t$; $\alpha = 45^\circ$						
Rychlost	Tlak za ohybem	Tlak před ohybem	Tlaková ztráta ohybu	Tlak za ventilátorem	Tlaková ztráta ohybu vypočtená	Rozdíl tlakových ztrát ohybu (4-6)
1	2	3	4	5	6	7
m/s	Pa	Pa	Pa	Pa	Pa	Pa
5,3	135	147	12	158	15,1686	-3,1686
4,2	81	91	10	101	9,5256	0,4744
5,9	160	176	16	191	18,7974	-2,7974
4,3	90	100	10	108	9,9846	0,0154
5,6	139	155	16	168	16,9344	-0,9344
6	163	185	22	198	19,44	2,56
4,9	106	120	14	131	12,9654	1,0346
4,2	81	94	13	101	9,5256	3,4744
5,5	139	152	13	167	16,335	-3,335
5,7	152	173	21	183	17,5446	3,4554
4,6	98	111	13	123	11,4264	1,5736
5,5	139	154	15	166	16,335	-1,335
6,1	163	184	21	199	20,0934	0,9066
4,8	106	122	16	129	12,4416	3,5584
4,2	83	94	11	102	9,5256	1,4744
					odhad ξ	0,225
					Suma	-0,057

Součinitel vřazených odporů vyšel 0,225.



Graf C.3.2-3 Naměřené hodnoty $r = t$; $\alpha = 45^\circ$



Graf C.3.2-4 Zpracované naměřené hodnoty $r = t$; $\alpha = 45^\circ$

C.3.2.2.4 Ohyb $r = 2t$; $\alpha = 90^\circ$

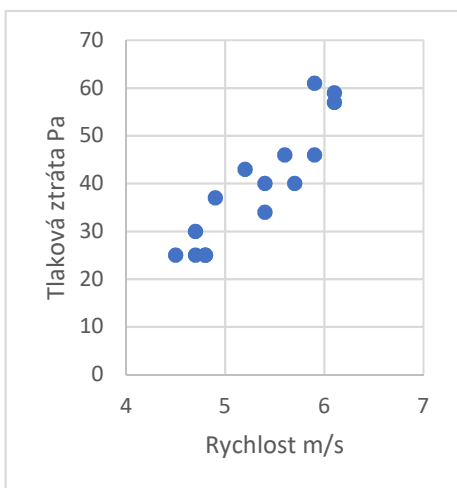


Obrázek C.3.2-3 Ohyb $r = 2t$; $\alpha = 90^\circ$

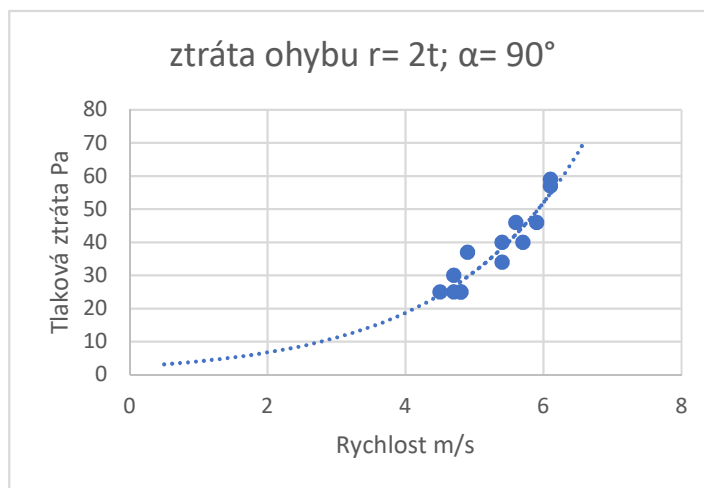
Tabulka C.3.2-3 Naměřené hodnoty ohyb $r = 2t$; $\alpha = 90^\circ$

$r = 2t$; $\alpha = 90^\circ$						
Rychlost	Tlak za ohybem	Tlak před ohybem	Tlaková ztráta ohybu	Tlak za ventilátorem	Tlaková ztráta ohybu vypočtená	Rozdíl tlakových ztrát ohybu (4-6)
1	2	3	4	5	6	7
m/s	Pa	Pa	Pa	Pa	Pa	Pa
5,4	88	122	34	159	38,981088	-4,981088
4,5	63	88	25	117	27,0702	-2,0702
6,1	111	168	57	220	49,742328	7,257672
4,8	68	93	25	119	30,799872	-5,799872
5,9	97	143	46	186	46,534008	-0,534008
4,7	61	91	30	115	29,529912	0,470088
5,9	114	175	61	226	46,534008	14,465992
5,2	70	113	43	143	36,147072	6,852928
4,8	66	91	25	113	30,799872	-5,799872
5,7	92	132	40	165	43,432632	-3,432632
4,9	65	102	37	133	32,096568	4,903432
5,4	84	124	40	159	38,981088	1,018912
6,1	108	167	59	218	49,742328	9,257672
4,7	68	93	25	118	29,529912	-4,529912
5,6	94	140	46	181	41,922048	4,077952
					odhad ξ	0,557
					Suma	-0,1619

Součinitel vřazených odporů vyšel 0,557.

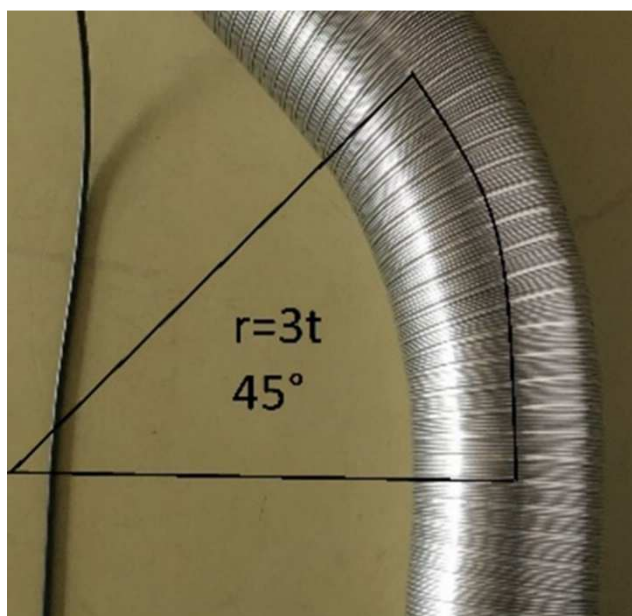


Graf C.3.2-6 Naměřené hodnoty $r = 2t$; $\alpha = 90^\circ$



Graf C.3.2-5 Zpracované naměřené hodnoty $r = 2t$; $\alpha = 90^\circ$

C.3.2.2.5 Ohyb $r = 3t$; $\alpha = 45^\circ$

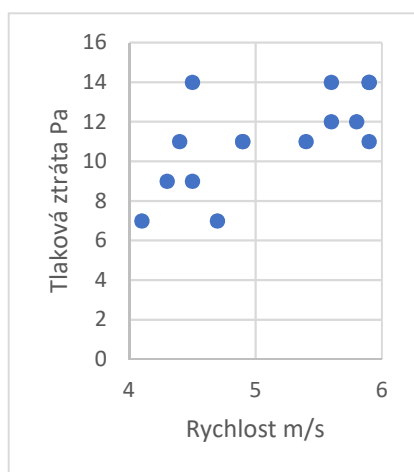


Obrázek C.3.2-4 Ohyb $r = 3t$; $\alpha = 45^\circ$

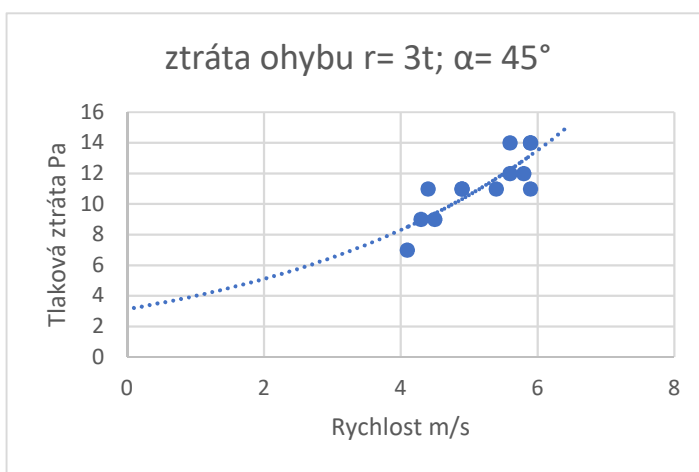
Tabulka C.3.2-4 Naměřené hodnoty ohyb $r=3t$; $\alpha=45^\circ$

$r=3t$; $\alpha=45^\circ$						
Rychlost	Tlak za ohybem	Tlak před ohybem	Tlaková ztráta ohybu	Tlak za ventilátorem	Tlaková ztráta ohybu vypočtená	Rozdíl tlakových ztrát ohybu (4-6)
1	2	3	4	5	6	7
m/s	Pa	Pa	Pa	Pa	Pa	Pa
4,7	106	113	7	122	9,118752	-2,118752
5,6	148	160	12	172	12,945408	-0,945408
4,4	94	105	11	111	7,991808	3,008192
5,9	166	180	14	197	14,369568	-0,369568
5,4	141	152	11	164	12,037248	-1,037248
4,5	100	109	9	120	8,3592	0,6408
5,9	171	182	11	198	14,369568	-3,369568
4,1	85	92	7	97	6,939168	0,060832
4,9	115	126	11	134	9,911328	1,088672
5,6	149	163	14	177	12,945408	1,054592
5,9	169	183	14	197	14,369568	-0,369568
4,5	95	109	14	117	8,3592	5,6408
4,9	119	130	11	139	9,911328	1,088672
4,3	92	101	9	109	7,632672	1,367328
5,8	161	173	12	191	13,886592	-1,886592
					odhad ξ	0,172
					Suma	0,33114

Součinitel vřazených odporů vyšel 0,172.

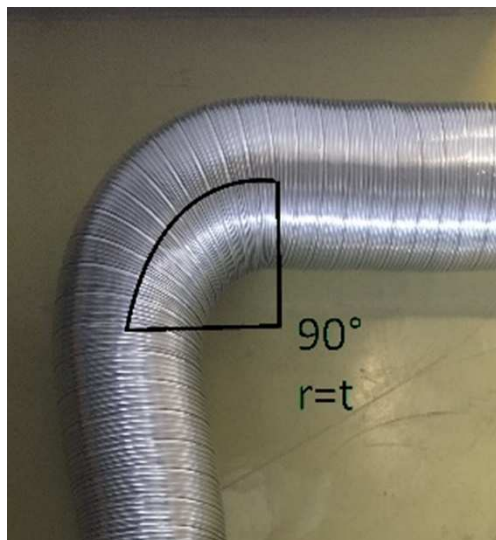


Graf C.3.2-7 Naměřené hodnoty $r=3t$; $\alpha=45^\circ$



Graf C.3.2-8 Zpracované naměřené hodnoty $r=3t$; $\alpha=45^\circ$

C.3.2.2.6 Ohyb $r = t$; $\alpha = 90^\circ$

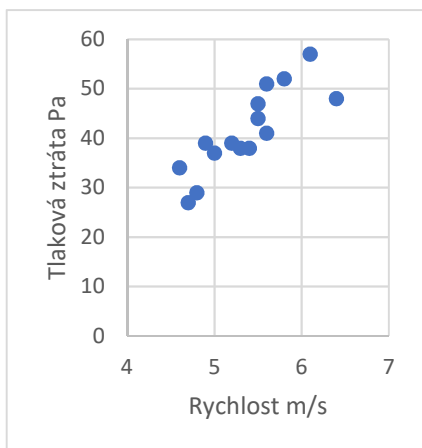


Obrázek C.3.2-5 Ohyb $r = t$; $\alpha = 90^\circ$

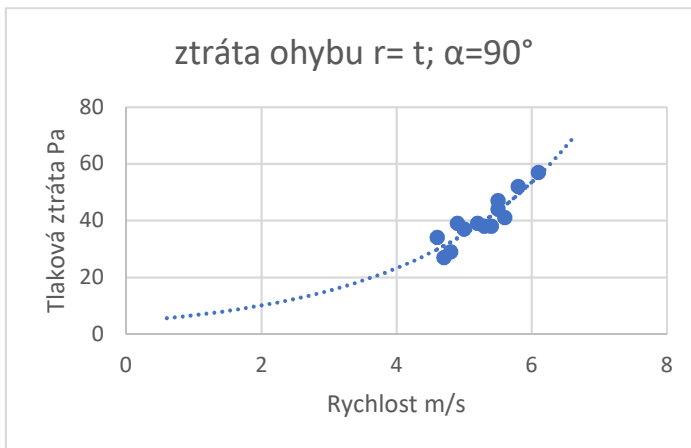
Tabulka C.3.2-5 Naměřené hodnoty ohyb $r = t$; $\alpha = 90^\circ$

$r = t$; $\alpha = 90^\circ$						
Rychlost	Tlak za ohybem	Tlak před ohybem	Tlaková ztráta ohybu	Tlak za ventilátorem	Tlaková ztráta ohybu vypočtená	Rozdíl tlakových ztrát ohybu (4-6)
1	2	3	4	5	6	7
m/s	Pa	Pa	Pa	Pa	Pa	Pa
4,8	69	98	29	125	33,1776	-4,1776
5,8	84	136	52	176	48,4416	3,5584
5,5	82	126	44	163	43,56	0,44
5,2	75	114	39	148	38,9376	0,0624
6,4	123	171	48	230	58,9824	-10,9824
5,5	84	131	47	170	43,56	3,44
4,6	56	90	34	119	30,4704	3,5296
5,6	82	123	41	160	45,1584	-4,1584
5,3	72	110	38	145	40,4496	-2,4496
6,1	115	172	57	227	53,5824	3,4176
5	67	104	37	135	36	1
5,4	82	120	38	157	41,9904	-3,9904
4,7	63	90	27	118	31,8096	-4,8096
5,6	85	136	51	178	45,1584	5,8416
4,9	64	103	39	133	34,5744	4,4256
					odhad ξ	0,6
					Suma	0,288

Součinitel vřazených odporů vyšel 0,6.

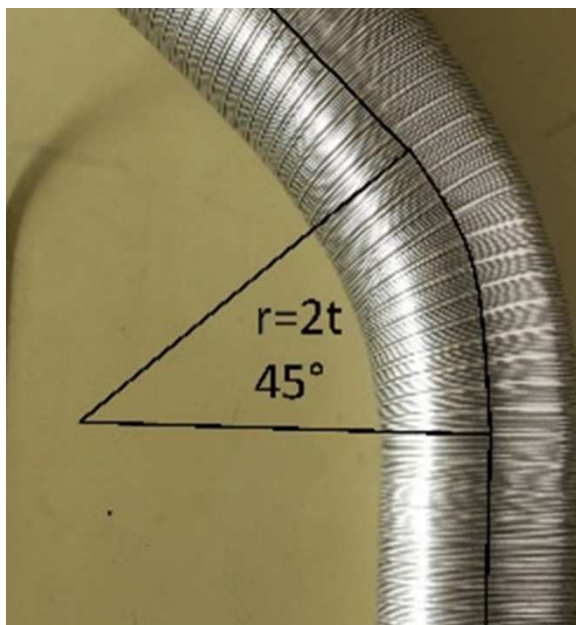


Graf C.3.2-10 Naměřené hodnoty $r = t$; $\alpha = 90^\circ$



Graf C.3.2-9 Zpracované naměřené hodnoty $r = t$; $\alpha = 90^\circ$

C.3.2.2.7 Ohyb $r = 2t$; $\alpha = 45^\circ$

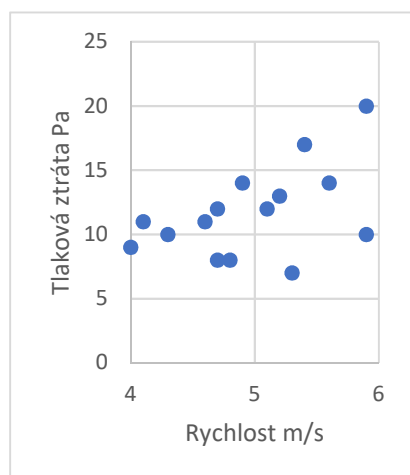


Obrázek C.3.2-6 Ohyb $r = 2t$; $\alpha = 45^\circ$

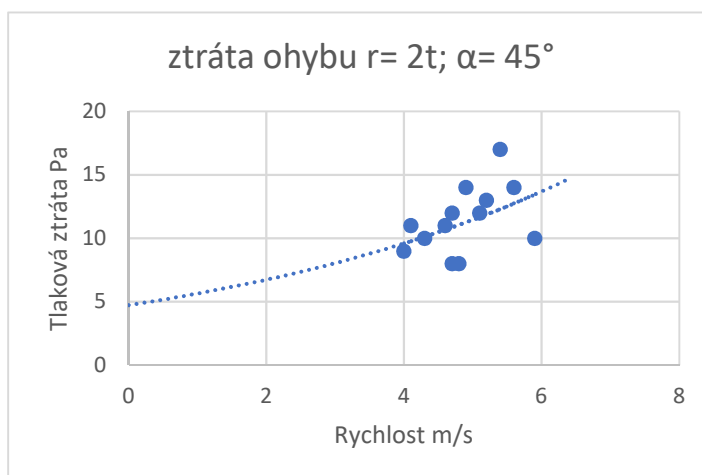
Tabulka C.3.2-6 Naměřené hodnoty ohyb $r=2t$; $\alpha=45^\circ$

$r=2t$; $\alpha=45^\circ$						
Rychlost	Tlak za ohybem	Tlak před ohybem	Tlaková ztráta ohybu	Tlak za ventilátorem	Tlaková ztráta ohybu vypočtená	Rozdíl tlakových ztrát ohybu (4-6)
1	2	3	4	5	6	7
m/s	Pa	Pa	Pa	Pa	Pa	Pa
4,7	104	116	12	129	10,550184	1,449816
5,1	125	137	12	151	12,422376	-0,422376
5,9	162	182	20	199	16,625256	3,374744
4,1	83	94	11	100	8,028456	2,971544
4,9	117	131	14	141	11,467176	2,532824
5,4	142	159	17	172	13,926816	3,073184
4,3	89	99	10	107	8,830824	1,169176
4,8	114	122	8	133	11,003904	-3,003904
5,2	129	142	13	156	12,914304	0,085696
5,9	170	180	10	198	16,625256	-6,625256
4,6	101	112	11	124	10,106016	0,893984
4	81	90	9	98	7,6416	1,3584
4,7	110	118	8	127	10,550184	-2,550184
5,3	141	148	7	163	13,415784	-6,415784
5,6	151	165	14	181	14,977536	-0,977536
					odhad ξ	0,199
					Suma	-0,0446

Součinitel vřazených odporů vyšel 0,199.



Graf C.3.2-11 Naměřené hodnoty $r=2t$; $\alpha=45^\circ$

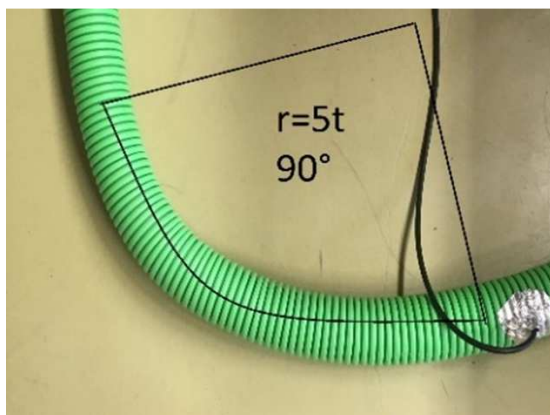


Graf C.3.2-12 Zpracované naměřené hodnoty $r=2t$; $\alpha=45^\circ$

C.3.2.3 Polyethylenové potrubí 75 mm

Polyethylenové potrubí s průměrem 75 mm je hůře tvarovatelné. Ovšem poloměry ohybů se dělají větší, než u předchozího potrubí. Opět jsem udělal ohyby o úhlu 45° a 90° s poloměry zahnutí pěti, osmi a deseti násobku průměru potrubí.

C.3.2.3.1 Ohyb $r=5t$; $\alpha=90^\circ$

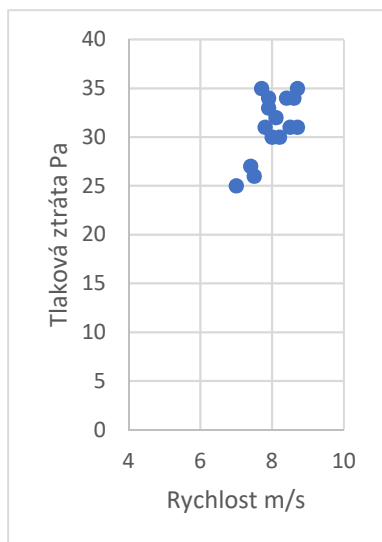


Obrázek C.3.2-7 Ohyb $r=5t$; $\alpha=90^\circ$

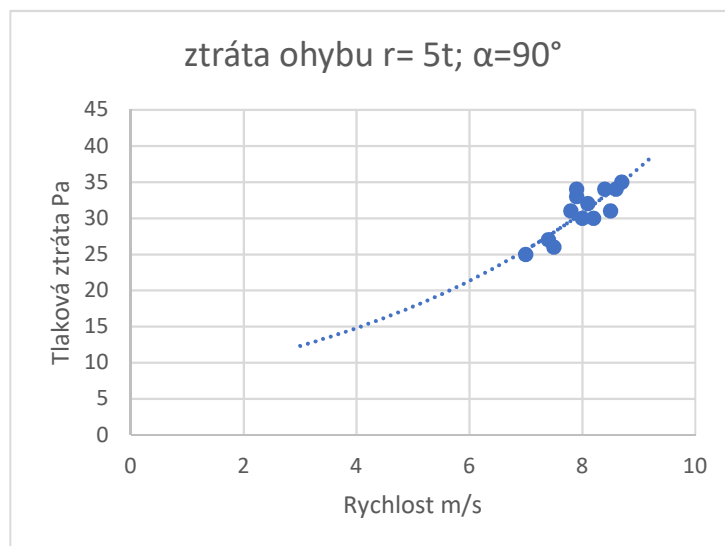
Tabulka C.3.2-7 Naměřené hodnoty ohybu $r=5t$; $\alpha=90^\circ$

$r=5t$; $\alpha=90^\circ$						
Rychlost	Tlak za ohybem	Tlak před ohybem	Tlaková ztráta ohybu	Tlak za ventilátorem	Tlaková ztráta ohybu vypočtená	Rozdíl tlakových ztrát ohybu (4-6)
1	2	3	4	5	6	7
m/s	Pa	Pa	Pa	Pa	Pa	Pa
8,7	5	36	31	40	36,512856	-5,512856
8	6	36	30	48	30,8736	-0,8736
7	4	29	25	38	23,6376	1,3624
7,8	5	36	31	43	29,349216	1,650784
8,6	8	42	34	45	35,678304	-1,678304
8,2	7	37	30	46	32,436576	-2,436576
7,4	5	32	27	39	26,416224	0,583776
8,5	8	39	31	43	34,8534	-3,8534
7,9	7	40	33	48	30,106584	2,893416
8,7	9	44	35	43	36,512856	-1,512856
7,9	5	39	34	49	30,106584	3,893416
7,5	6	32	26	36	27,135	-1,135
8,4	6	40	34	43	34,038144	-0,038144
8,1	6	38	32	50	31,650264	0,349736
7,7	4	39	35	44	28,601496	6,398504
					odhad ξ	0,201
					Suma	-0,7944

Součinitel vřazených odporů vyšel 0,201.

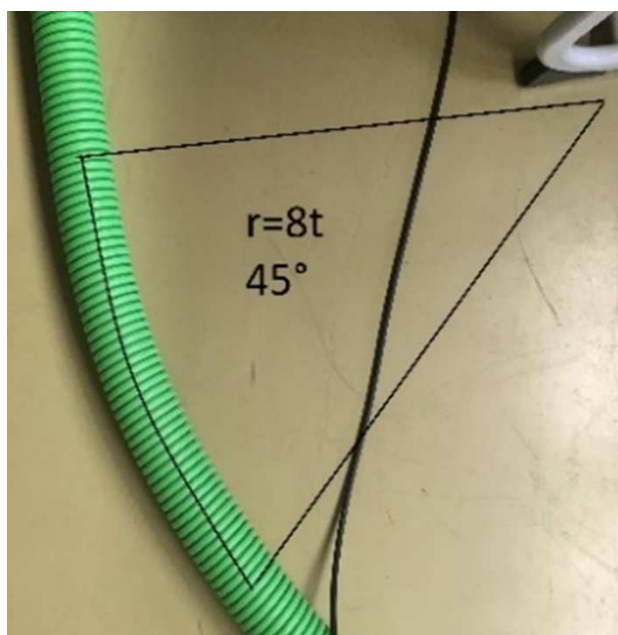


Graf C.3.2-14 Naměřené hodnoty $r = 5t$; $\alpha = 90^\circ$



Graf C.3.2-13 Zpracované naměřené hodnoty $r = 5t$; $\alpha = 90^\circ$

C.3.2.3.2 Ohyb $r = 8t$; $\alpha = 45^\circ$

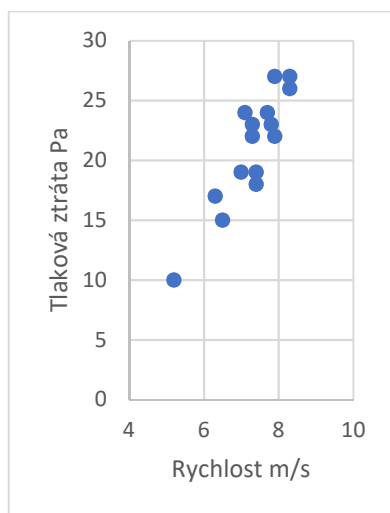


Obrázek C.3.2-8 Ohyb $r = 8t$; $\alpha = 45^\circ$

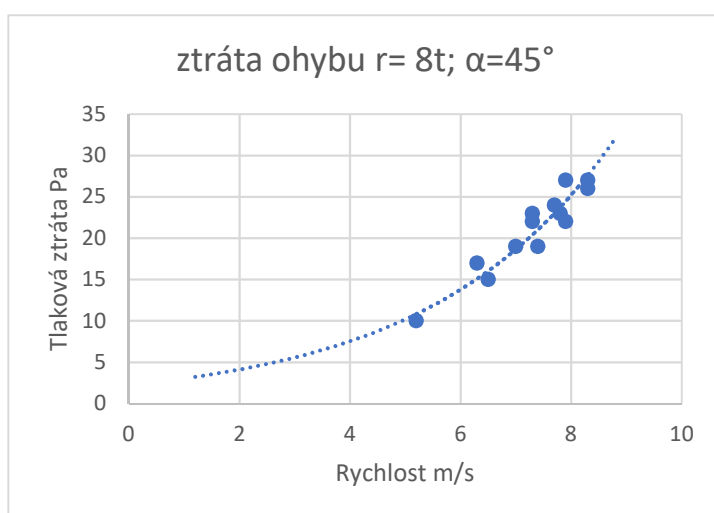
Tabulka C.3.2-8 Naměřené hodnoty ohybu $r = 8t$; $\alpha = 45^\circ$

$r = 8t$; $\alpha = 45^\circ$						
Rychlost	Tlak za ohybem	Tlak před ohybem	Tlaková ztráta ohybu	Tlak za ventilátorem	Tlaková ztráta ohybu vypočtená	Rozdíl tlakových ztrát ohybu (4-6)
1	2	3	4	5	6	7
m/s	Pa	Pa	Pa	Pa	Pa	Pa
5,2	4	14	10	18	10,578048	-0,578048
7,7	6	30	24	31	23,194248	0,805752
8,3	10	36	26	39	26,949768	-0,949768
7,4	9	27	18	33	21,422112	-3,422112
6,3	5	22	17	28	15,526728	1,473272
7	4	23	19	29	19,1688	-0,1688
7,4	6	25	19	31	21,422112	-2,422112
7,8	7	30	23	34	23,800608	-0,800608
6,5	5	20	15	24	16,5282	-1,5282
7,9	7	34	27	37	24,414792	2,585208
7,3	5	27	22	31	20,847048	1,152952
7,9	5	27	22	33	24,414792	-2,414792
7,1	3	27	24	30	19,720392	4,279608
8,3	6	33	27	38	26,949768	0,050232
7,3	5	28	23	32	20,847048	2,152952
					odhad ξ	0,163
					Suma	-0,642

Součinitel vřazených odporů vyšel 0,163.

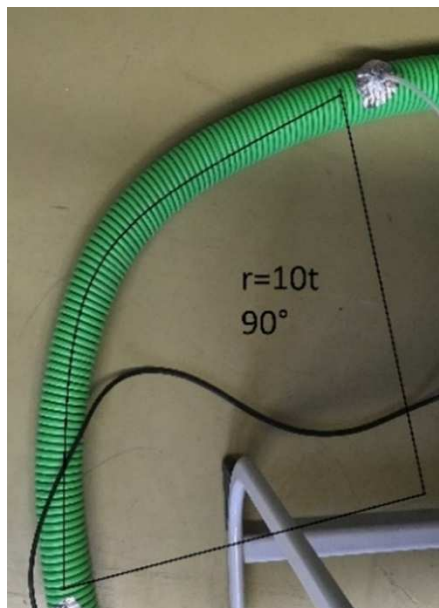


Graf C.3.2-16 Naměřené hodnoty $r = 8t$; $\alpha = 45^\circ$



Graf C.3.2-15 Zpracované naměřené hodnoty $r = 8t$; $\alpha = 45^\circ$

C.3.2.3.3 Ohyb $r=10t$; $\alpha=90^\circ$

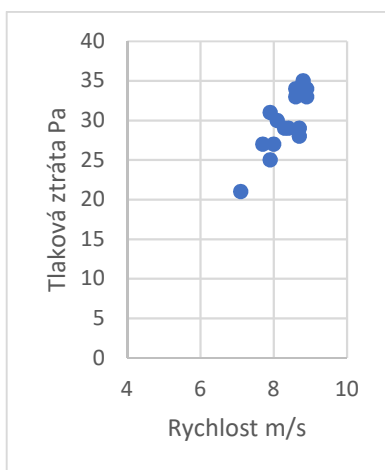


Obrázek C.3.2-9 Ohyb $r=10t$; $\alpha=90^\circ$

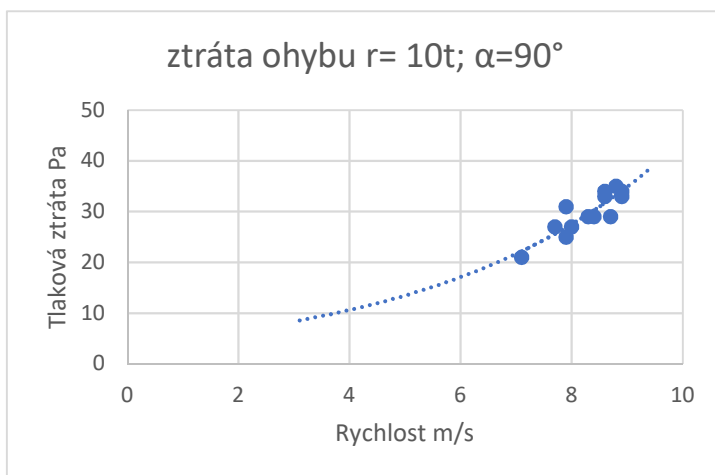
Tabulka C.3.2-9 Naměřené hodnoty ohybu $r=10t$; $\alpha=90^\circ$

$r=10t$; $\alpha=90^\circ$						
Rychlost	Tlak za ohybem	Tlak před ohybem	Tlaková ztráta ohybu	Tlak za ventilátorem	Tlaková ztráta ohybu vypočtená	Rozdíl tlakových ztrát ohybu (4-6)
1	2	3	4	5	6	7
m/s	Pa	Pa	Pa	Pa	Pa	Pa
8,9	9	42	33	53	34,21872	-1,21872
8	7	34	27	39	27,648	-0,648
8,8	8	43	35	50	33,45408	1,54592
7,1	6	27	21	30	21,77712	-0,77712
8,7	11	39	28	51	32,69808	-4,69808
8,1	8	38	30	46	28,34352	1,65648
8,9	10	44	34	52	34,21872	-0,21872
7,9	8	33	25	38	26,96112	-1,96112
8,6	7	41	34	53	31,95072	2,04928
8,6	7	40	33	41	31,95072	1,04928
7,7	6	33	27	47	25,61328	1,38672
8,4	9	38	29	44	30,48192	-1,48192
8,7	10	39	29	42	32,69808	-3,69808
8,3	8	37	29	48	29,76048	-0,76048
7,9	6	37	31	46	26,96112	4,03888
					odhad ξ	0,18
					Suma	-0,6941

Součinitel vřazených odporů vyšel 0,180.

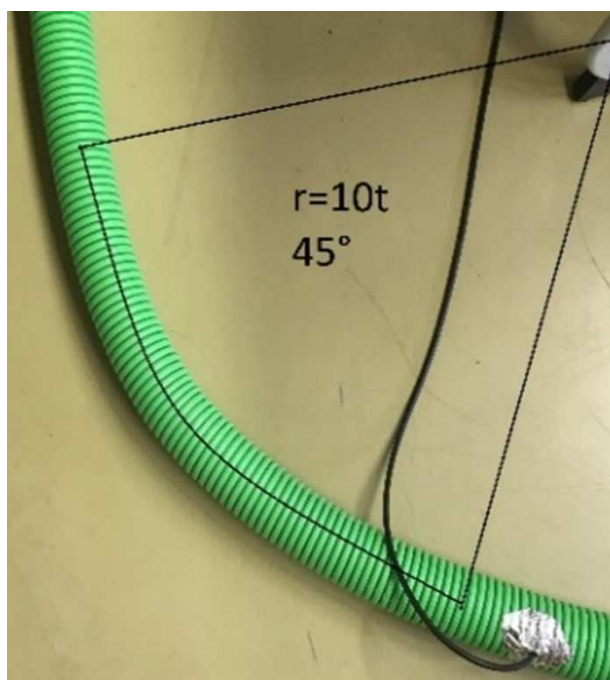


Graf C.3.2-18 Naměřené hodnoty $r=10t$; $\alpha=90^\circ$



Graf C.3.2-17 Zpracované naměřené hodnoty $r=10t$; $\alpha=90^\circ$

C.3.2.3.4 Ohyb $r=10t$; $\alpha=45^\circ$

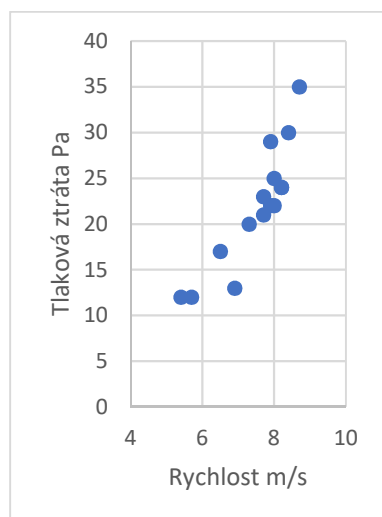


Obrázek C.3.2-10 Ohyb $r=10t$; $\alpha=45^\circ$

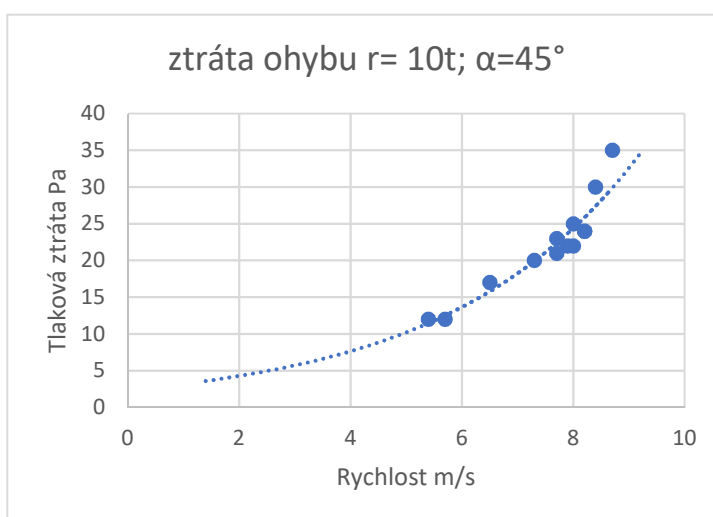
Tabulka C.3.2-10 Naměřené hodnoty ohybu $r=10t$; $\alpha=45^\circ$

$r=10t$; $\alpha=45^\circ$						
Rychlost	Tlak za ohybem	Tlak před ohybem	Tlaková ztráta ohybu	Tlak za ventilátorem	Tlaková ztráta ohybu vypočtená	Rozdíl tlakových ztrát ohybu (4-6)
1	2	3	4	5	6	7
m/s	Pa	Pa	Pa	Pa	Pa	Pa
7,9	6	35	29	40	23,96544	5,03456
8,7	8	43	35	40	29,06496	5,93504
8,4	6	36	30	44	27,09504	2,90496
8	10	35	25	39	24,576	0,424
6,5	6	23	17	30	16,224	0,776
5,7	5	17	12	24	12,47616	-0,47616
8,2	8	32	24	40	25,82016	-1,82016
7,7	9	30	21	35	22,76736	-1,76736
5,4	5	17	12	20	11,19744	0,80256
8	10	32	22	36	24,576	-2,576
7,3	7	27	20	30	20,46336	-0,46336
7,7	6	29	23	35	22,76736	0,23264
8,2	7	31	24	37	25,82016	-1,82016
6,9	9	22	13	33	18,28224	-5,28224
7,9	10	32	22	38	23,96544	-1,96544
					odhad ξ	0,16
					Suma	0,18656

Součinitel vřazených odporů vyšel 0,160.

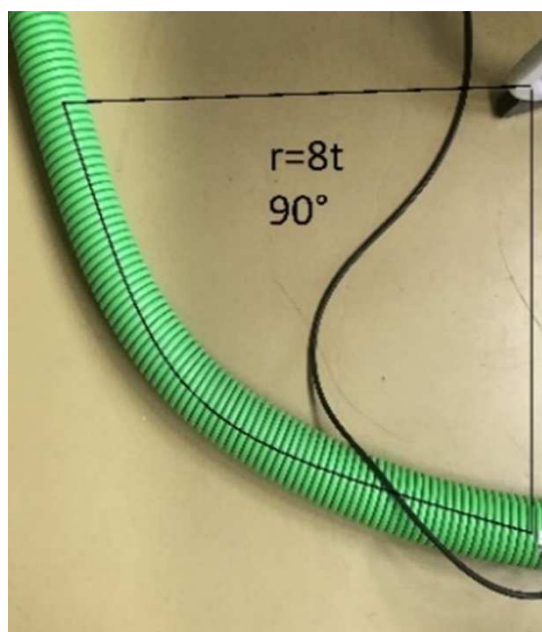


Graf C.3.2-20 Naměřené hodnoty $r=10t$; $\alpha=45^\circ$



Graf C.3.2-19 Zpracované naměřené hodnoty $r=10t$; $\alpha=45^\circ$

C.3.2.3.5 Ohyb $r = 8t$; $\alpha = 90^\circ$

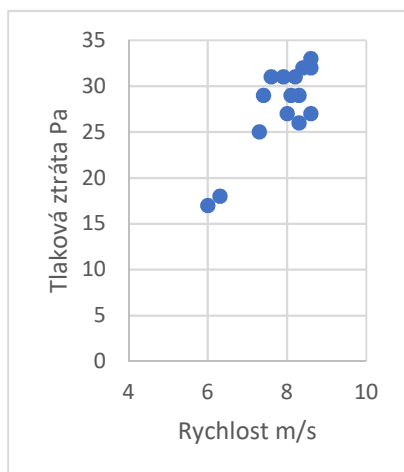


Obrázek C.3.2-11 Ohyb $r = 8t$; $\alpha = 90^\circ$

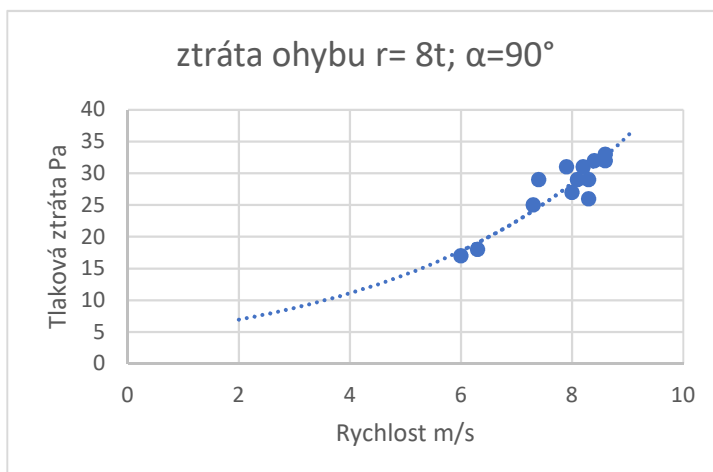
Tabulka C.3.2-11 Naměřené hodnoty ohybu $r = 8t$; $\alpha = 90^\circ$

$r = 8t$; $\alpha = 90^\circ$						
Rychlost	Tlak za ohybem	Tlak před ohybem	Tlaková ztráta ohybu	Tlak za ventilátorem	Tlaková ztráta ohybu vypočtená	Rozdíl tlakových ztrát ohybu (4-6)
1	2	3	4	5	6	7
m/s	Pa	Pa	Pa	Pa	Pa	Pa
7,9	5	36	31	48	28,009608	2,990392
8,6	9	42	33	51	33,193248	-0,193248
8,1	7	36	29	48	29,445768	-0,445768
7,4	5	34	29	37	24,576288	4,423712
6	3	20	17	25	16,1568	0,8432
8,3	10	39	29	48	30,917832	-1,917832
8,6	9	41	32	43	33,193248	-1,193248
8,3	10	36	26	42	30,917832	-4,917832
7,3	6	31	25	38	23,916552	1,083448
8,4	7	39	32	52	31,667328	0,332672
8	7	34	27	44	28,7232	-1,7232
7,6	5	36	31	45	25,922688	5,077312
8,2	7	38	31	47	30,177312	0,822688
6,3	4	22	18	29	17,812872	0,187128
8,6	10	37	27	46	33,193248	-6,193248
					odhad ξ	0,187
					Suma	0,29211

Součinitel vřazených odporů vyšel 0,187.

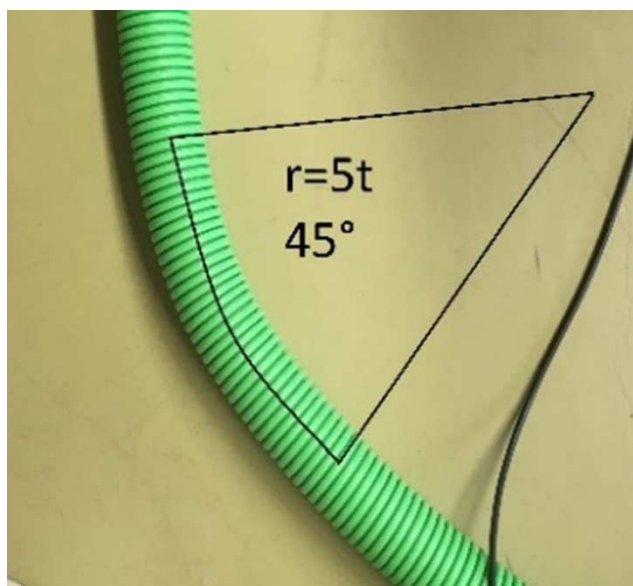


Graf C.3.2-21 Naměřené hodnoty $r = 8t$; $\alpha = 90^\circ$



Graf C.3.2-22 Zpracované naměřené hodnoty $r = 8t$; $\alpha = 90^\circ$

C.3.2.3.6 Ohyb $r = 5t$; $\alpha = 45^\circ$

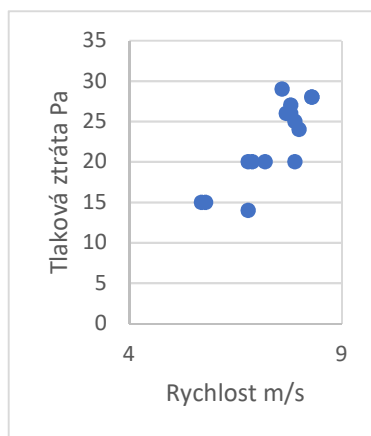


Obrázek C.3.2-12 Ohyb $r = 5t$; $\alpha = 45^\circ$

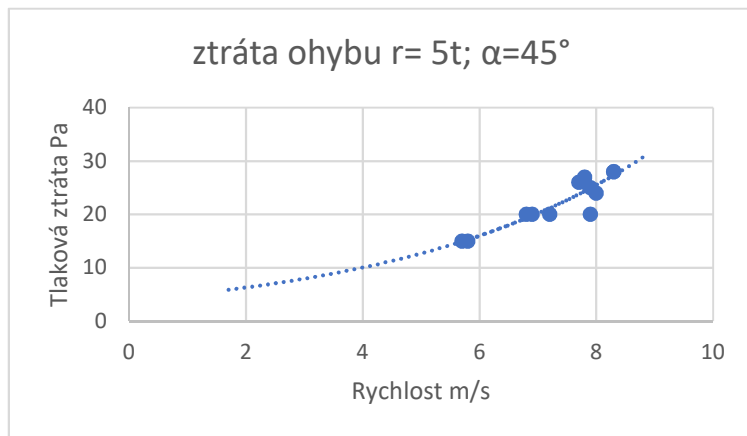
Tabulka C.3.2-12 Naměřené hodnoty ohybu $r=5t$; $\alpha=45^\circ$

$r=5t$; $\alpha=45^\circ$						
Rychlost	Tlak za ohybem	Tlak před ohybem	Tlaková ztráta ohybu	Tlak za ventilátorem	Tlaková ztráta ohybu vypočtená	Rozdíl tlakových ztrát ohybu (4-6)
1	2	3	4	5	6	7
m/s	Pa	Pa	Pa	Pa	Pa	Pa
7,9	9	29	20	31	25,46328	-5,46328
6,8	7	21	14	26	18,86592	-4,86592
8,3	7	35	28	41	28,10712	-0,10712
7,2	7	27	20	33	21,15072	-1,15072
7,6	7	36	29	40	23,56608	5,43392
6,9	4	24	20	30	19,42488	0,57512
7,8	5	32	27	38	24,82272	2,17728
8,3	6	34	28	39	28,10712	-0,10712
7,7	4	30	26	33	24,19032	1,80968
5,8	4	19	15	23	13,72512	1,27488
7,9	8	33	25	37	25,46328	-0,46328
6,8	4	24	20	31	18,86592	1,13408
8	8	32	24	37	26,112	-2,112
7,8	6	32	26	39	24,82272	1,17728
5,7	4	19	15	22	13,25592	1,74408
					odhad ξ	0,17
					Suma	0,48888

Součinitel vřazených odporů vyšel 0,170.



Graf C.3.2-23 Naměřené hodnoty $r=5t$; $\alpha=45^\circ$



Graf C.3.2-24 Zpracované naměřené hodnoty $r=5t$; $\alpha=45^\circ$

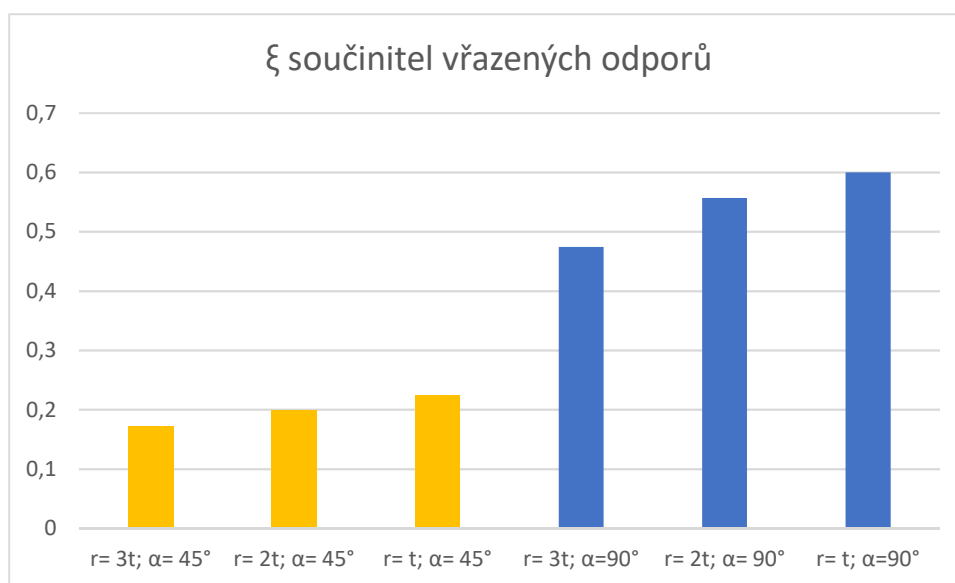
C.3.2.4 Souhrn výsledků

Pro lepší přehled je zde uveden souhrn dosavadních výsledků.

Hliníkové potrubí o průměru 160 mm:

Tabulka C.3.2-13 Souhrnná tabulka 160 mm

Ohyb	ξ
$r = 3t; \alpha = 45^\circ$	0,172
$r = 2t; \alpha = 45^\circ$	0,199
$r = t; \alpha = 45^\circ$	0,225
$r = 3t; \alpha = 90^\circ$	0,474
$r = 2t; \alpha = 90^\circ$	0,557
$r = t; \alpha = 90^\circ$	0,6



Graf C.3.2-25 Srovnání součinitele vřazených odporů 160 mm

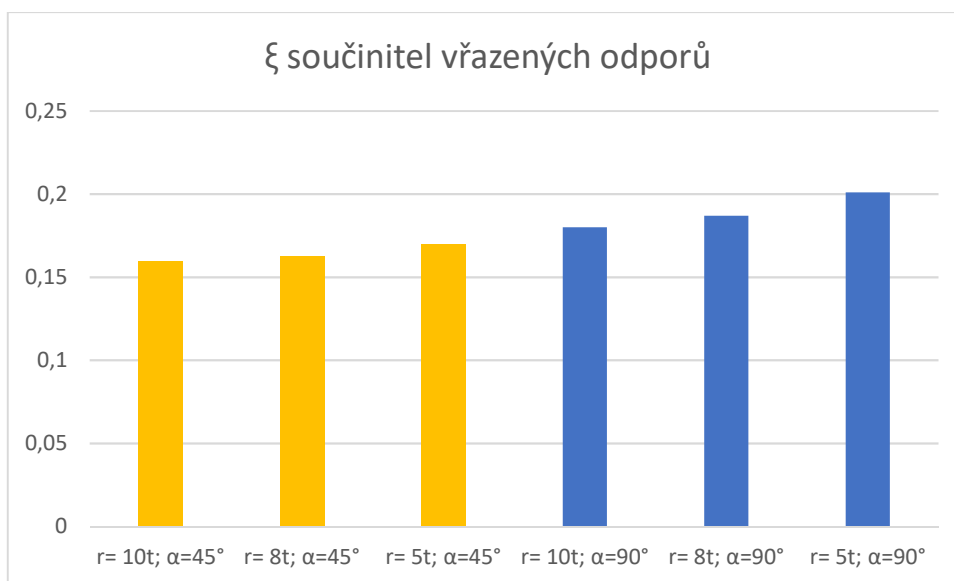
Z následujícího přehledu je jasně vidět rozdíl mezi úhlem zahnutí 45° , pro který se hodnoty vřazených odporů pohybují kolem 0,2 a úhlem 90° , pro který nabývají hodnot kolem 0,5.

Podle přehledu můžeme vidět, že čím je ohyb pozvolnější tím má menší součinitel vřazených odporů. Proto při návrhu je lepší využívat ohyby větších poloměru pro zmenšení tlakových ztrát, pokud ovšem nejsme omezeni prostorem.

Polyethylenové potrubí o průměru 75 mm:

Tabulka C.3.2-14 Souhrnná tabulka 75 mm

Ohyb	ξ
$r = 10t; \alpha = 45^\circ$	0,16
$r = 8t; \alpha = 45^\circ$	0,163
$r = 5t; \alpha = 45^\circ$	0,17
$r = 10t; \alpha = 90^\circ$	0,18
$r = 8t; \alpha = 90^\circ$	0,187
$r = 5t; \alpha = 90^\circ$	0,201



Graf C.3.2-26 Srovnání součinitele vřazených odporů 75 mm

Součinitel vřazených odporů pro PE potrubí o průměru 75 mm se výrazně neliší mezi jednotlivými ohyby. Z tabulky je patrné, že pokud jde o úhly 90° , tak součinitele vřazených odporů nabývají vyšších hodnot. Pro různé poloměry ohybu už nejde o nijak velké rozdíly mezi ztrátami.

C.3.2.5 Závěr

Když výsledky porovnáme s hodnotami z tabulek s vřazenými odpory, zjistíme, že při používání těchto hodnot se dopočítáme vyšších ztrát. Protože udávaná hodnota vřazených odporů pro oblouk je 0,6. Pokud nahlédneme do mých výsledků, tak takovéto hodnoty jsme dosáhli pouze v nejhorším případě.

Pokud bychom tedy získali údaje o vřazených odporech daných výrobků, šli by tlakové ztráty spočítat přesněji. Tím by mohlo dojít k úspoře u ventilátoru, který by nemusel mít tak velký výkon, jaký napočítáme s méně přesnými údaji. Na druhou stranu ovšem není na škodu mírně naddimenzovaný ventilátor z důvodu nečistot v potrubí nebo horšímu provedení potrubí, kdy může dojít k navýšení tlakových ztrát.

C.3.3 Tlakové ztráty třením

C.3.3.1 Úvod

Pro určení tlakových ztrát třením bylo nutné změřit tlakovou ztrátu rovných úseků. Měření bylo prováděno současně s měřením tlakových ztrát vřazenými odpory. Celkem tedy byla měřena tři místa tlaku. Mezi dvěma se měřila tlaková ztráta třením a mezi dalšíma dvěma se měřila tlaková ztráta vřazenými odpory.

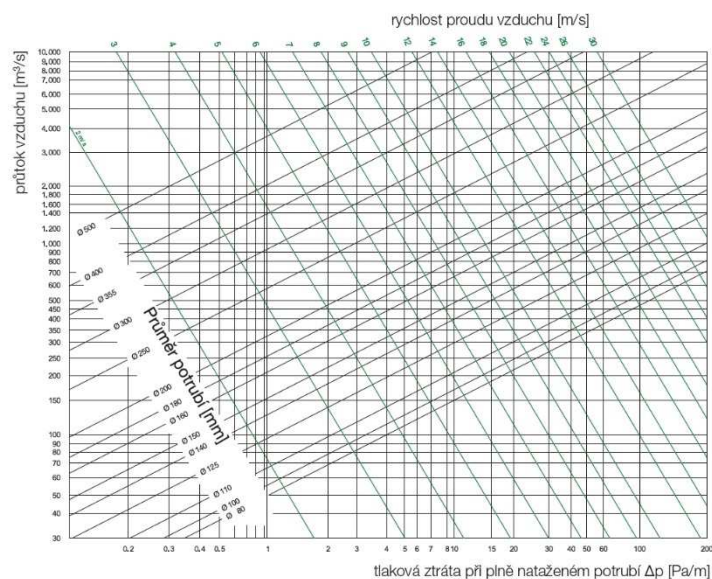
Tlaková ztráta třením se dá vypočítat. To je ovšem velmi náročné. Z toho důvodu tento údaj výrobci u svých výrobků udávají. Hodnotu udávají v Pa/m. Pro určení tlakové ztráty třením potrubí stačí vynásobit délku potrubí a ztrátu třením na metr délky potrubí.

C.3.3.2 Vyhodnocení

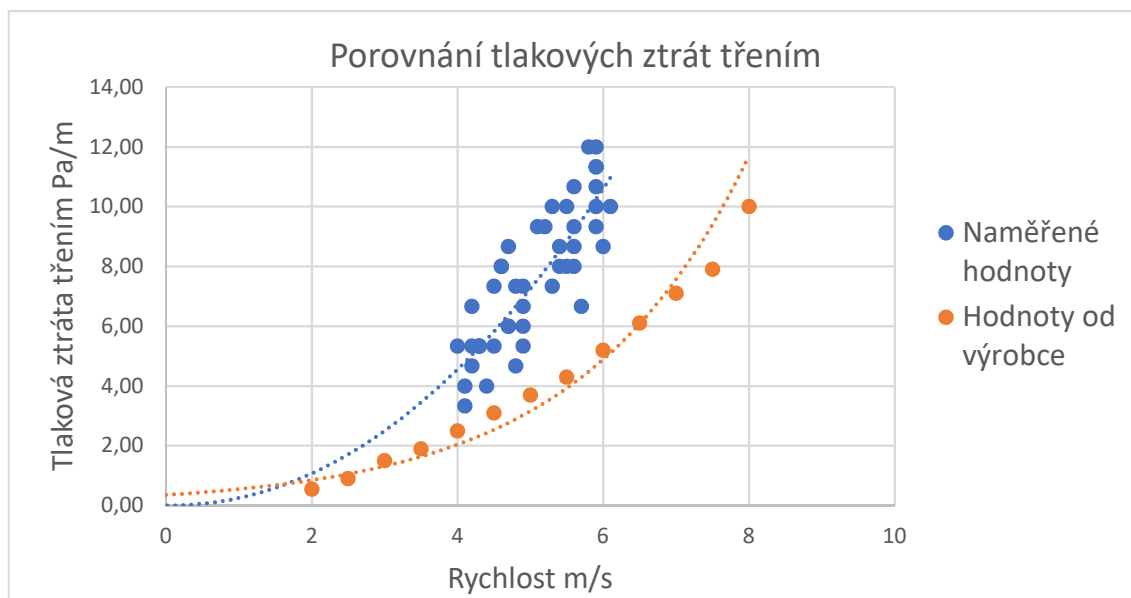
V následující tabulce jsou pro různé rychlosti zapsané tlakové ztráty úseku dlouhého 1,5m, proto bylo nutné ztrátu přepočítat na jeden metr pro možnost porovnání s daty od výrobce.

Tabulka C.3.3-1 Tlaková ztráta třením hliníkového potrubí 160 mm

Rychlost	Tlaková ztráta třením		Rychlost	Tlaková ztráta třením		Rychlost	Tlaková ztráta třením	
	1,5 m	1 m		1,5 m	1 m		1,5 m	1 m
m/s	Pa	Pa/m	m/s	Pa	Pa/m	m/s	Pa	Pa/m
4,7	13	8,67	5,3	11	7,33	4,7	9	6,00
5,1	14	9,33	4,2	10	6,67	5,6	12	8,00
5,9	17	11,33	5,9	15	10,00	4,4	6	4,00
4,1	6	4,00	4,3	8	5,33	5,9	17	11,33
4,9	10	6,67	5,6	13	8,67	5,4	12	8,00
5,4	13	8,67	6	13	8,67	4,5	11	7,33
4,3	8	5,33	4,9	11	7,33	5,9	16	10,67
4,8	11	7,33	4,2	7	4,67	4,1	5	3,33
5,2	14	9,33	5,5	15	10,00	4,9	8	5,33
5,9	18	12,00	5,7	10	6,67	5,6	14	9,33
4,6	12	8,00	4,6	12	8,00	5,9	14	9,33
4	8	5,33	5,5	12	8,00	4,5	8	5,33
4,7	9	6,00	6,1	15	10,00	4,9	9	6,00
5,3	15	10,00	4,8	7	4,67	4,3	8	5,33
5,6	16	10,67	4,2	8	5,33	5,8	18	12,00



Obrázek C.3.3-1 Tlakové ztráty třením od výrobce³¹



Graf C.3.3-1 Porovnání ztrát třením

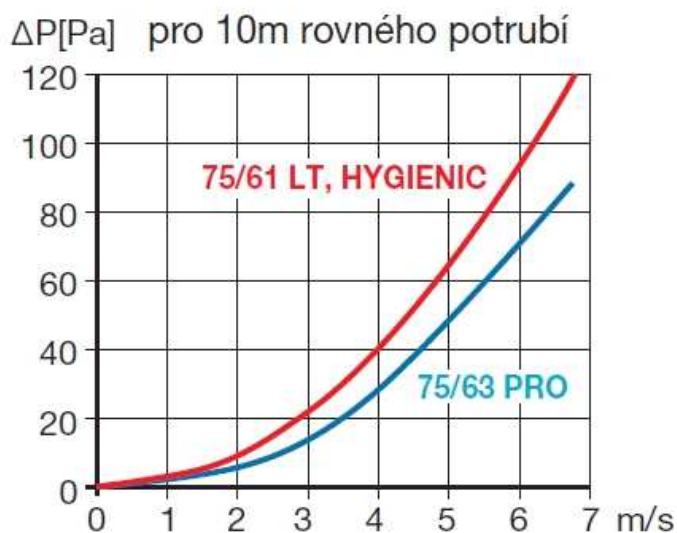
Z porovnání hodnot v grafu je patrné, že naměřené hodnoty ztrát třením nám vyšly vyšší než hodnoty od výrobce. Vyšší ztráta je způsobena opotřebením potrubí, které je v laboratoři často využíváno na různé měření, proto už jeho povrch není tak rovný a může způsobovat vyšší ztráty třením.

³¹ Elektrodesign Semiflex ztráty [online]; [cit. 2017-8-1]. URL: <<http://www.elektrodesign.cz/web/data-1/grafy/SEMIFLEXgraf.jpg>>

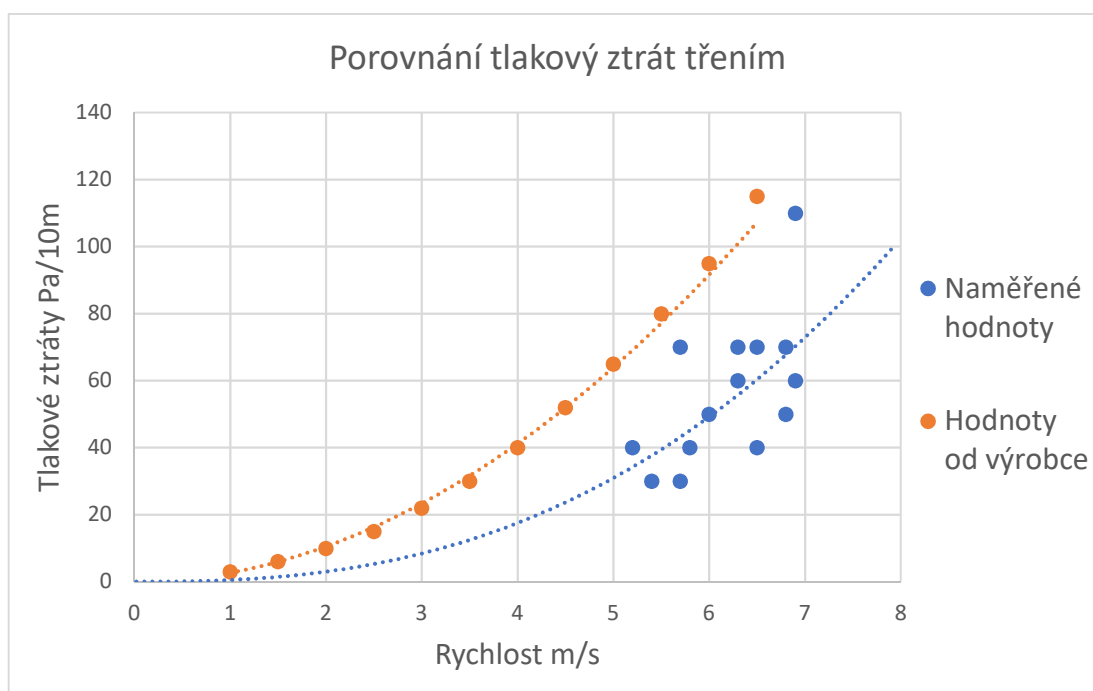
Výrobce u potrubí z polyethylenu udává tlakovou ztrátu třením v Pa na 10 m. Proto bylo nutné v tabulce přepočítat hodnotu z 1 m na 10 m. Hodnoty s rychlostí nad 7 m/s byly odebrány, protože výrobce udává hodnoty do rychlosti 7 m/s.

Tabulka C.3.3-2 Tlaková ztráta třením polyethylenového potrubí 75 mm

rychlost	Tlakové ztráty třením	
	10 m	1 m
m/s	Pa/m	Pa/m
6,5	70	7
5,7	70	7
5,4	30	3
6,9	110	11
6	50	5
6,8	50	5
6,3	70	7
5,8	40	4
6,8	70	7
6,9	60	6
6,3	60	6
5,2	40	4
5,7	30	3
6,5	40	4



Obrázek C.3.3-2 Tlakové ztráty třením od výrobce 75 mm³²



Graf C.3.3-2 Porovnání tlakových ztrát polyethylen 75 mm

V grafu je jasně vidět, že průběh ztrát třením odpovídá údajům od výrobce, jen jsou ztráty menší. Kdyby bylo větší množství dat, mohla by se křivka více přiblížit údajům od výrobce.

³² Elektrodesign ED Flex tření [online]; [cit. 2018-4-1]. URL: <<http://www.elektrodesign.cz/web/data-1/grafy/EDFlexgraf.jpg>>

C.3.3.3 Závěr

Při porovnání výsledků s údaji od výrobce, zjistíme, že hodnoty nabývají podobných hodnot. V případě potrubí Semiflex o průměru 160 mm nám ztráty třením vycházejí o něco více. U potrubí ED Flex nám ztráty zase vycházejí menší.

Při měření potrubí Semiflex bylo patrné, že potrubí je častěji využíváno pro různé pokusy. Jsou na něm jasně vidět známky používání, ať už jde o promáčknutí nebo o zalepené otvory. Tato porušení nám mohou ovlivnit výsledky. To je hlavní důvod, proč nám tlakové ztráty třením vyšly větší.

Potrubí ED Flex vypadalo jako nové. Neneslo žádné známky používání. Je to tedy ideální stav pro měření tlakových ztrát tření. To se nám potvrdilo i podle výsledků, kdy nám ztráty vyšly menší, než udává sám výrobce.

Údaje z měření jsou využity v rámci projektu pro výpočet tlakových ztrát potrubí.

ZÁVĚR

Výsledkem diplomové práce je návrh nuceného větrání se zpětným získáváním tepla pro bytovou jednotku v Brně. Navržené vzduchotechnické zařízení zajišťuje úsporné řešení pro požadovanou výměnu vzduchu zejména v zimním období, kdy je zpětné získávání tepla velice ekonomické.

Potrubí bylo navrženo ve dvou variantách. V první variantě šlo o potrubí vedené v podlaze. Ve druhé variantě šlo o potrubí vedené v podhledu. Pro návrh jednotlivých druhů potrubí byla využita data naměřená v rámci experimentu.

Při experimentálním měření byly měřeny tlakové ztráty dvou druhů potrubí. Potrubí byla různě ohýbána a měřena pro stanovení součinitele vřazených odporů tvarů, které by mohly být využity v rámci návrhu. Také byly u potrubí měřeny tlakové ztráty třením, které byly následně porovnány s údaji od výrobce a dále využity v rámci projektu.

Stanovené součinitele vřazených odporů se pohybovaly pod hodnotou běžně používanou pro výpočet tlakových ztrát. Tlakové ztráty třením nám v případě potrubí o průměru 160 mm vyšly mírně vyšší než hodnoty od výrobce. Toto bylo způsobeno značným opoužíváním měřeného potrubí. V případě druhého potrubí nám ztráty vyšly menší než podle výrobce.

Díky experimentu jsem si osvojil zacházení s laboratorní technikou pro měření rychlosti proudění vzduchu a pro měření diferenciálního tlaku.

Pomocí výsledků z experimentu byly výsledky tlakových ztrát přesnější. Díky tomuto zpřesnění byla možnost navrhnout optimálnější vzduchotechnickou jednotku, jejíž ventilátor tyto ztráty musí překonávat. Tato varianta byla také ekonomicky výhodnější, než kdyby došlo k návrhu větší jednotky.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

Zákony, vyhlášky, normy, směrnice

1. Vyhláška 20/2012 Sb.
2. norma ČSN EN 15665/Z1
3. nařízení vlády č. 272/2011 Sb.

Elektronické a knižní zdroje

4. Günter, Gebauer, Rubinová, Olga, Horká, Helena. Vzduchotechnika. Brno : ERA group, spol. s r.o., 2007, 2. vydání. str. 262. ISBN: 978-80-7366-091-8.
5. Laminární proudění a Reynoldsovo číslo [online]. [cit. 2017-30-12]. URL: <<http://www.ipotrubici.cz/clanky/6.-hydrodynamicke-a-termodynamicke-vypocty/2.-vypocet-tlakovych-ztrat/1.-laminarni-proudeni-a-reynoldsovo-cislo.html>>

Obrazové zdroje

6. Elektrodesign ED Flex [online]; [cit. 2018-4-1]. URL: <http://www.elektrodesign.cz/web/data-1/hlavni-obrazky/EDFlexHYGhlavni.jpg>
7. Elektrodesign rozdělovací box [online]; [cit. 2018-4-1]. URL: http://www.elektrodesign.cz/web/data-1/hlavni-obrazky/ALUFLEX_HYGhlavni.jpg
8. Elektrodesign box podlahový [online]; [cit. 2018-4-1]. URL: <http://www.elektrodesign.cz/web/cs/product/edf-p-box-2x75-215x102-box-podlahovy>
9. Vnitřní mikroklima a řízené větrání bytů a rodinných domů [online]; [cit. 2018-4-1]. URL: https://www.nazeleno.cz/stavba/rekuperace/chap_3837/vnitri-mikroklima-a-rizene-vetrani-bytu-a-rodinnych-domu.aspx
10. Elektrodesign Aluflex [online]; [cit. 2018-4-1]. URL: http://www.elektrodesign.cz/web/data-1/hlavni-obrazky/ALUFLEX_HYGhlavni.jpg
11. Elektrodesign Semiflex [online]; [cit. 2018-4-1]. URL: http://www.elektrodesign.cz/web/data-1/hlavni-obrazky/SEMIFLEX-STAND_PROFI-hlavni.jpg
12. Laminární proudění a Reynoldsovo číslo [online]. [cit. 2018-30-12]. URL: <http://www.ipotrubici.cz/img/picture/800/proud2.jpg>
13. Elektrodesign rozdělovací box EDF-PL-BOX-125-6x75 [online]; [cit. 2018-4-1]. URL: <http://www.elektrodesign.cz/web/data-1/rozmerove-nacrty/EDF-PL-BOX-125-6x75-rozmary.jpg>
14. Elektrodesign přípojovací box EDF-P-BOX-1x75 [online]; [cit. 2018-4-1]. URL: <http://www.elektrodesign.cz/web/data-1/rozmerove-nacrty/EDF-P-box-1x75rozmary.JPG>
15. Elektrodesign přípojovací box EDF-P-BOX-2x75 [online]; [cit. 2018-4-1]. URL: <http://www.elektrodesign.cz/web/data-1/rozmerove-nacrty/EDF-P-BOX-2x75-215x102-rozmary.jpg>

16. Elektrodesign připojovací box EDF-SK-BOX-125-2x75 [online]; [cit. 2018-4-1]. URL: http://www.elektrodesign.cz/web/data-1/hlavni-obrazky/ALUFLEX_HYGHlavni.jpg
17. Elektrodesign připojovací box EDF-PL-BOX-125-4x75 [online]; [cit. 2018-4-1]. URL: <http://www.elektrodesign.cz/web/data-1/rozmerove-nacrty/EDF-PL-BOX-125-4x75rozmary.jpg>
18. Elektrodesign připojovací box EDF-SK-BOX-100-2x75 [online]; [cit. 2018-5-1]. URL: <http://www.elektrodesign.cz/web/data-1/rozmerove-nacrty/EDF-SK-BOX-100-2x75rozmary.jpg>
19. Elektrodesign potrubní mřížka [online]; [cit. 2018-5-1]. URL: <http://www.elektrodesign.cz/web/data-1/doplnujici-obrazky/KVKPd6.jpg>
20. Elektrodesign Semiflex [online]; [cit. 2018-4-1]. URL: http://www.elektrodesign.cz/web/data-1/hlavni-obrazky/SEMIFLEX-STAND_PROFI-hlavni.jpg 3.tbl
21. Elektrodesign talířový ventil [online]; [cit. 2018-6-1]. URL: <http://www.elektrodesign.cz/web/data-1/hlavni-obrazky/KIhlavni.jpg>
22. Elektrodesign jednotka DOMEO 210 FL [online]; [cit. 2018-6-1]. URL: <http://www.elektrodesign.cz/web/download/37948>
23. Technika prostředí výpočet změny při zpětném získávání tepla [online]; [cit. 2018-9-1]. URL: <http://www.qpro.cz/Psychrometricke-vypocty-Strana-7>
24. Elektrodesign talířový ventil charakteristika [online]; [cit. 2017-4-1]. URL: <http://www.elektrodesign.cz/web/data-1/grafy/KI-KIC-080-graf.jpg>

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A OZNAČENÍ

Zkratky

- VUT – Vysoké učení technické
Fast – Fakulta stavební
PPI – pixels per inch / pixelů na palec
PE – polyethylen
ED – elektrodesign
RGB – red, green, blue neboli červená, zelená, modrá
LCD – liquid crystal display, displej z tekutých krystalů
AA – tužkové baterie
USB – univerzální sériová sběrnice
SZZ – státní závěrečná zkouška
VŠKP – vysokoškolská kvalifikační práce

Fyzikální veličiny

- λ – součinitel tření [-]
 \varnothing – průměr [mm]
 r – poloměr [mm]
 l – délka [m]
 ρ – zrychlení [kg/m^3]
 v – rychlost [m/s]
 Δp – tlaková ztráta [Pa]
 ξ – součinitel vřazeného odporu [-]
 V – objem [m^3]
 h – výška [m]
 n – násobnost výměny vzduchu [h^{-1}]
 S – plocha [m^2]
 V – objemový průtok [m^3/h]
 ϕ – relativní vlhkost [%]
 L_w – akustický výkon [dB]

SEZNAM OBRÁZKŮ, TABULEK A GRAFŮ

Obrázky

Obrázek A.3.1-1 potrubí ED Flex.....	18
Obrázek A.3.1-2 Rozváděcí box.....	18
Obrázek A.3.1-3 vyústka	19
Obrázek A.3.1-4 realizace ED Flex	19
Obrázek A.3.2-1 Flexibilní potrubí aluflex.....	20
Obrázek A.3.2-2 Semiflex potrubí.....	20
Obrázek A.4.1-1 Laminární a turbulentní proudění	22
Obrázek A.5.1-1 Schéma měření.....	24
Obrázek A.5.2-1 Ventilátor s regulací	24
Obrázek A.5.2-2 Lopatkový anemometr s centrálou Almemo	25
Obrázek A.5.2-3 Přístroj pro měření diferenčního tlaku.....	25
Obrázek A.5.2-1 Řešený byt.....	28
Obrázek A.5.2-1 Tlakové poměry a dávky vzduchu.....	30
Obrázek B.4.1-1 Schéma pro dimenzování potrubí v podlaze	31
Obrázek B.4.2-1 Potrubí ED Flex ¹	33
Obrázek B.4.2-2 Rozdělovací box pro obývací a dětský pokoj.....	34
Obrázek B.4.2-3 Přívodní podlahová vyústka obývací pokoj.....	34
Obrázek B.4.2-4 Přívodní podlahová vyústka dětský pokoj.....	35
Obrázek B.4.2-5 Rozdělovací box pro kuchyň.....	36
Obrázek B.4.2-6 Rozdělovací box pro koupelnu.....	36
Obrázek B.4.2-7 Stěnová odvodní vyústka pro talířový ventil	37
Obrázek B.4.2-8 Vyústka do kruhového potrubí.....	37
Obrázek B.4.3-1 Schéma pro dimenzování potrubí v podhledu.....	38
Obrázek B.5.2-1 Použité potrubí.....	42
Obrázek B.5.2-2 Přívodní a odvodní talířový ventil.....	42
Obrázek B.5.2-1 Vzduchotechnická jednotka DOMEO 210 FL	43
Obrázek B.6.1-1 Rozměry jednotky Domeo 210 FL ²¹	44
Obrázek B.6.2-1 Charakteristika jednotky Domeo 210 FL ²¹	45
Obrázek B.6.3-1 Akustický výkon jednotka Domeo 210 FL ²¹	45
Obrázek B.6.4-1 Provoz s a bez bypassu ²¹	46
Obrázek B.7.1-1 Zpětné získávání tepla léto	47
Obrázek B.7.1-2 Zpětné získávání tepla léto h-x diagram.....	48
Obrázek B.7.2-1 Přehřev zima.....	49
Obrázek B.7.2-2 Zpětné získávání tepla zima	49
Obrázek B.7.2-3 Zpětné získávání tepla zima	50
Obrázek B.8.7-1 Schéma měření	55
Obrázek C.2.1-1 Spojení ventilátoru s potrubím.....	57

Obrázek C.2.1-2 Oblouk potrubí s připojenými hadičkami	58
Obrázek C.3.1-1 Pracovní diagram ventilátoru	59
Obrázek C.3.2-1 Ohyb $r = 3t$; $\alpha = 90^\circ$	62
Obrázek C.3.2-2 Ohyb $r = t$; $\alpha = 45^\circ$	63
Obrázek C.3.2-3 Ohyb $r = 2t$; $\alpha = 90^\circ$	65
Obrázek C.3.2-4 Ohyb $r = 3t$; $\alpha = 45^\circ$	66
Obrázek C.3.2-5 Ohyb $r = t$; $\alpha = 90^\circ$	68
Obrázek C.3.2-6 Ohyb $r = 2t$; $\alpha = 45^\circ$	69
Obrázek C.3.2-7 Ohyb $r = 5t$; $\alpha = 90^\circ$	71
Obrázek C.3.2-8 Ohyb $r = 8t$; $\alpha = 45^\circ$	72
Obrázek C.3.2-9 Ohyb $r = 10t$; $\alpha = 90^\circ$	74
Obrázek C.3.2-10 Ohyb $r = 10t$; $\alpha = 45^\circ$	75
Obrázek C.3.2-11 Ohyb $r = 8t$; $\alpha = 90^\circ$	77
Obrázek C.3.2-12 Ohyb $r = 5t$; $\alpha = 45^\circ$	78
Obrázek C.3.3-1 Tlakové ztráty třením od výrobce	83
Obrázek C.3.3-2 Tlakové ztráty třením od výrobce 75 mm.....	85

Tabulky

Tabulka A.5.2-1 Dávky vzduchu po místnostech.....	29
Tabulka B.4.1-1 Dimenzování potrubí v podlaze přívodní.....	32
Tabulka B.4.1-2 Dimenzování potrubí v podlaze odvodní.....	33
Tabulka B.5.1-1 Dimenzování potrubí v podhledu přívodní.....	39
Tabulka B.5.1-2 Dimenzování potrubí v podhledu přívodní 2.....	40
Tabulka B.5.1-3 Dimenzování potrubí v podhledu sání.....	40
Tabulka B.5.1-4 Dimenzování potrubí v podhledu odvodní.....	41
Tabulka B.5.1-5 Dimenzování potrubí v podhledu výfuk.....	41
Tabulka C.3.1-1 Tlakové ztráty tlumiče hluku	60
Tabulka C.3.2-1 Naměřené hodnoty ohyb $r = 3t$; $\alpha = 90^\circ$	62
Tabulka C.3.2-2 Naměřené hodnoty ohyb $r = t$; $\alpha = 45^\circ$	64
Tabulka C.3.2-3 Naměřené hodnoty ohyb $r = 2t$; $\alpha = 90^\circ$	65
Tabulka C.3.2-4 Naměřené hodnoty ohyb $r = 3t$; $\alpha = 45^\circ$	67
Tabulka C.3.2-5 Naměřené hodnoty ohyb $r = t$; $\alpha = 90^\circ$	68
Tabulka C.3.2-6 Naměřené hodnoty ohyb $r = 2t$; $\alpha = 45^\circ$	70
Tabulka C.3.2-7 Naměřené hodnoty ohybu $r = 5t$; $\alpha = 90^\circ$	71
Tabulka C.3.2-8 Naměřené hodnoty ohybu $r = 8t$; $\alpha = 45^\circ$	73
Tabulka C.3.2-9 Naměřené hodnoty ohybu $r = 10t$; $\alpha = 90^\circ$	74
Tabulka C.3.2-10 Naměřené hodnoty ohybu $r = 10t$; $\alpha = 45^\circ$	76
Tabulka C.3.2-11 Naměřené hodnoty ohybu $r = 8t$; $\alpha = 90^\circ$	77
Tabulka C.3.2-12 Naměřené hodnoty ohybu $r = 5t$; $\alpha = 45^\circ$	79
Tabulka C.3.2-13 Souhrnná tabulka 160 mm	80
Tabulka C.3.2-14 Souhrnná tabulka 75 mm	81
Tabulka C.3.3-1 Tlaková ztráta třením hliníkového potrubí 160 mm	82
Tabulka C.3.3-2 Tlaková ztráta třením polyethylenového potrubí 75 mm.....	84

Grafy

Graf C.3.1-1 Tlakové ztráty tlumiče od výrobce	60
Graf C.3.1-2 Porovnání tlakových ztrát tlumiče	61
Graf C.3.2-1 Zpracované naměřené hodnoty $r = 3t$; $\alpha = 90^\circ$	63
Graf C.3.2-2 Naměřené hodnoty $r = 3t$; $\alpha = 90^\circ$	63
Graf C.3.2-3 Naměřené hodnoty $r = t$; $\alpha = 45^\circ$	64
Graf C.3.2-4 Zpracované naměřené hodnoty $r = t$; $\alpha = 45^\circ$	64
Graf C.3.2-5 Zpracované naměřené hodnoty $r = 2t$; $\alpha = 90^\circ$	66
Graf C.3.2-6 Naměřené hodnoty $r = 2t$; $\alpha = 90^\circ$	66
Graf C.3.2-7 Naměřené hodnoty $r = 3t$; $\alpha = 45^\circ$	67
Graf C.3.2-8 Zpracované naměřené hodnoty $r = 3t$; $\alpha = 45^\circ$	67
Graf C.3.2-9 Zpracované naměřené hodnoty $r = t$; $\alpha = 90^\circ$	69
Graf C.3.2-10 Naměřené hodnoty $r = t$; $\alpha = 90^\circ$	69
Graf C.3.2-11 Naměřené hodnoty $r = 2t$; $\alpha = 45^\circ$	70
Graf C.3.2-12 Zpracované naměřené hodnoty $r = 2t$; $\alpha = 45^\circ$	70
Graf C.3.2-13 Zpracované naměřené hodnoty $r = 5t$; $\alpha = 90^\circ$	72
Graf C.3.2-14 Naměřené hodnoty $r = 5t$; $\alpha = 90^\circ$	72
Graf C.3.2-15 Zpracované naměřené hodnoty $r = 8t$; $\alpha = 45^\circ$	73
Graf C.3.2-16 Naměřené hodnoty $r = 8t$; $\alpha = 45^\circ$	73
Graf C.3.2-17 Zpracované naměřené hodnoty $r = 10t$; $\alpha = 90^\circ$	75
Graf C.3.2-18 Naměřené hodnoty $r = 10t$; $\alpha = 90^\circ$	75
Graf C.3.2-19 Zpracované naměřené hodnoty $r = 10t$; $\alpha = 45^\circ$	76
Graf C.3.2-20 Naměřené hodnoty $r = 10t$; $\alpha = 45^\circ$	76
Graf C.3.2-21 Naměřené hodnoty $r = 8t$; $\alpha = 90^\circ$	78
Graf C.3.2-22 Zpracované naměřené hodnoty $r = 8t$; $\alpha = 90^\circ$	78
Graf C.3.2-23 Naměřené hodnoty $r = 5t$; $\alpha = 45^\circ$	79
Graf C.3.2-24 Zpracované naměřené hodnoty $r = 5t$; $\alpha = 45^\circ$	79
Graf C.3.2-25 Srovnání součinitele vřazených odporů 160 mm	80
Graf C.3.2-26 Srovnání součinitele vřazených odporů 75 mm	81
Graf C.3.3-1 Porovnání ztrát třením	83
Graf C.3.3-2 Porovnání tlakových ztrát polyethylen 75 mm	85

PŘÍLOHY

A. Výkresy

A.1 Výkres č.1 – půdorys 2. NP, varianta I

A.2 Výkres č.2 – řez A-A', B-B', C'-C varianta I

A.3 Výkres č.3 – půdorys 2. NP, varianta II

A.4 Výkres č.4 – řez A-A', B-B', C'-C varianta II